Untersuchungen über den Einfluß einer hohen Ammoniakkonzentration in der Stalluft auf den Harnstoff- und Ammoniakgehalt im Blut beim Schaf

Dietrich Baer

München ~~1983~~ 1984

Aus der Medizinischen Tierklinik
(Lehrstuhl für Innere Krankheiten der Klauentiere)
der Tierärztlichen Fakultät der Universität München
Vorstand: Prof. Dr. Dr. h.c. G. Dirksen

und

dem Insitut für Physiologie, Physiologische Chemie
und Ernährungsphysiologie der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München
Geschf. Vorstand: Prof. Dr. H. Zucker

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN EINFLUSS EINER HOHEN AMMONIAKKONZENTRATION IN DER STALLUFT AUF DEN HARNSTOFF- UND AMMONIAKGEHALT IM BLUT BEIM SCHAF

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde der
Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-
Universität München

von
Dietrich Baer
aus
Hof/Saale

München 1983

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen
Fakultät der Universität München

Dekan: Prof. Dr. W. Leidl

Referent: Prof. Dr. Dr.h.c. G. Dirksen

Korreferent: Prof. Dr. I. Gylstorff

Tag der Promotion: 24. Februar 1984

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
E I N L E I T U N G	1
L I T E R A T U R Ü B E R S I C H T	3
DER AMMONIAK-STOFFWECHSEL BEIM WIEDERKÄUER	3
DER HARNSTOFF-STOFFWECHSEL BEIM WIEDERKÄUER	7
AMMONIAK ALS SCHADGAS IN DER STALLUFT	13
E I G E N E U N T E R S U C H U N G E N	14
METHODIK	14
Versuchstiere und deren Fütterung	14
Beschaffenheit des Versuchsstalles	15
Versuchsanordnung	15
Technik der Blutentnahme und Probenkonservierung bis zur Auswertung	18
Bestimmungsmethoden	18
Testgenauigkeit	20
Technik der Ammoniakverdampfung und der Bestimmungsmethode des NH_3-Gehaltes in der Luft	20
ERGEBNISSE	21
Ergebnisse der Vorversuche zur Ermittlung von Kontrollwerten	21
Ergebnisse der Belastungsversuche	26
Statistische Auswertung der Versuche	37
D I S K U S S I O N	38
Z U S A M M E N F A S S U N G	44
S U M M A R Y	46
L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S	48

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546002_0024

E I N L E I T U N G

Die Landwirtschaft unterliegt aus betriebswirtschaftlichen Gründen zunehmend einer Rationalisierung. Dies bedeutet, daß eine abnehmende Anzahl landwirtschaftlicher Betriebe unter optimaler Ausnutzung der Produktionsmittel wie Maschinen, Stallraum, Nutztiere und Ackerland eine zunehmende Menge landwirtschaftlicher Produkte erzeugen muß, um rentabel wirtschaften zu können.

Bezüglich der Tierhaltung bedeutet dies, daß der einzelne Landwirt gezwungen ist, immer höhere Tierzahlen auf relativ engem Stallraum zu konzentrieren. Gleichzeitig wird ein Tiermaterial selektiert, dessen hohe Leistungsfähigkeit nur noch durch eine genau abgestimmte Fütterung sowie durch große Futteraufnahmekapazität, Toleranz hinsichtlich nicht wiederkäuergemäßen Rationen usw. aufrechterhalten werden kann. Die Haltungssysteme sind darauf ausgerichtet, die anfallenden Arbeiten pro Tier möglichst gering zu halten.

Eine dieser arbeitssparenden Maßnahmen ist der Bau von einstreulosen Rinderställen mit Schwemmentmistung. In den Schwemmistkanälen wird über mehrere Monate der gesamte anfallende Kot und Urin gesammelt. Durch mikrobiellen Abbau der Exkremente ist daher immer die Möglichkeit des Entstehens großer Ammoniakmengen gegeben. In der Regel werden die entstehenden Schadgase durch die Belüftungssysteme aus der Stalluft entfernt.

Ein Faktor für die Erzielung einer maximalen Produktionsleistung der Tiere ist die leistungsgerechte Fütterung. Als Parameter für eine ausreichende Proteinversorgung kann, sofern keine Gesundheitsstörungen vorliegen, die Blutharnstoffkonzentration (BHK) herangezogen werden, da der Harnstoff fast ausschließ-

lich aus dem Proteinstoffwechsel stammt. Harnstoff wird dabei in der Leber aus freiem Ammoniak, dem Endprodukt des Proteinstoffwechsels, gebildet.

MÜNCHOW und BERGNER (1967, 1968) konnten zeigen, daß bei Ratten und Schweinen die BHK zur Bestimmung der biologischen Wertigkeit von Proteinen herangezogen werden kann.

KAUFMANN (1979) stellte fest, daß besonders bei Kühen mit hoher Milchleistung, die entsprechend ihrer Bedarfsnormen (z.B. nach DLG-Norm) gefüttert werden, durch den mikrobiellen Proteinabbau im Pansen ein NH_3-Überschuß entsteht. Dieser Überschuß bildet sich mitunter auch durch einen relativen Mangel an leichtlöslichen Kohlehydraten in der Futterration, wodurch die Keimzahl im Pansen begrenzt wird. Das aus dem mikrobiellen Eiweißabbau entstandene Ammoniak kann nicht mehr vollständig zu bakteriellem Protein synthetisiert werden. Nach der Resorption des überschüßigen Ammoniaks über die Pansenwand wird dieses in der Leber zu Harnstoff transformiert. Dies bedeutet, daß ein bestimmter Anteil der Blutharnstoffmenge nicht aus dem intermediären Proteinstoffwechsel des Wiederkäuerorganismus resultiert.

Weiterhin ist bekannt, daß es bei unsachgemäßer Entleerung von Schwemmistkanälen zu Vergiftungen der Tiere kommen kann. Dabei spielt sicher auch die Resorption von Ammoniak über die Atemluft eine Rolle, woraus sich ebenfalls eine Veränderung der BHK ergeben könnte.

Aufgabe der vorliegenden Arbeit war es, den Einfluß einer hohen Ammoniakkonzentration in der Stalluft auf die Blutharnstoffkonzentration zu prüfen.

LITERATURÜBERSICHT

DER AMMONIAK-STOFFWECHSEL BEIM WIEDERKÄUER

Stickstoffhaltige Verbindungen gelangen fast ausschließlich über den Verdauungstrakt in den Blutkreislauf eines Tieres. Beim Wiederkäuer geschieht dies durch Aufnahme von pflanzlichen Proteinen und von "Non-Protein-Nitrogen"-Verbindungen (abgekürzt NPN; hauptsächlich Ammoniaksalze und Harnstoff). Im Pansen unterliegen die Futterproteine zu 60 bis 80 % dem mikrobiellen Abbau, wobei freies Ammoniak entsteht (KAUFMANN und LÜPPING, 1979). Die restlichen 20 bis 40 % der Futterproteine verlassen den Pansen unverändert und stehen dem Wiederkäuer als direkt verwertbares Protein im Dünndarm zur Verfügung. Der Harnstoff wird ebenfalls zu Ammoniak und CO_2 abgebaut. Dies geschieht relativ schnell, so daß es schwer ist, Harnstoff im Pansen nachzuweisen (KAUFMANN, 1960).

Neben dieser exogenen Zufuhr von N-Verbindungen bestehen noch zwei endogene Wege, auf denen Stickstoff in Form von Harnstoff dem Pansen zugeführt wird, nämlich über den Speichel und über die Pansenwand. Nach JUHÁSZ (1970) gelangen in der Regel täglich 0,8 bis 2 g Harnstoff mit dem Speichel und - bei einer Blutharnstoffkonzentration von 20 bis 60 mg/100 ml - ca. 5 bis 10 g Harnstoff über die Pansenwand in den Pansen. Auch dieser Harnstoff wird umgehend durch die Urease der im Pansen angesiedelten Mikroorganismen bzw. durch Urease im Pansenepithel zu Ammoniak abgebaut.

Das entstandene Ammoniak dient den Pansenmikroorganismen als N-Quelle für die eigene Proteinsynthese.

Ein Überschuß an Ammoniak, der nicht von den Mikroorganismen verbraucht wird, wird über die Pansenwand resorbiert und gelangt über die Pfortader zur Leber, wo das Ammoniak im sogenannten Krebs-Henseleit-Zyklus zu Harnstoff entgiftet wird.

Nach BERGNER (1970) ist die im Pansen vorhandene Ammoniakmenge von verschiedenen Faktoren abhängig:

- Von der Höhe des im Futter dargebotenen Eiweißes und anderen N-haltigen Verbindungen. Nach KAUFMANN (1979) liegt der Bedarf einer Kuh, die täglich 20 l Milch gibt und die entsprechend den Bedarfsnormen gefüttert wird, bei 13 % Rohprotein in der Futterration. Das daraus im Pansen entstehende Ammoniak wird bei bedarfsgemäßer Energieversorgung weitgehend für die bakterielle Proteinsynthese verbraucht. Wird bei höherer Milchleistung mehr Rohprotein in der Ration verfüttert, so ergibt sich ein nicht von den Vormagenmikroben verwertbarer NH_3-Überschuß.

- Vom pH-Wert im Pansen. Da das pH-Optimum der Ureaseproduzenten bei pH 7 liegt, wird bei einem niedrigeren pH-Wert, z. B. von pH 6, trotz reichlich vorhandener Urease Harnstoff nur relativ langsam zu NH_3 und CO_2 hydrolysiert.

- Vom Vorhandensein leicht verwertbarer Kohlenhydrate. Diese werden von den Mikroorganismen als Energiequelle benötigt und ermöglichen hohe Keimzahlen im Pansen. Bei Energieunterversorgung sinkt die Keimzahl, und es wird weniger bakterielles Protein synthetisiert. Hieraus resultiert ein NH_3-Überschuß. Hohe Anteile an leichtverdaulichen Kohlenhydraten bedingen ein tiefes pH-Niveau im Panseninhalt, wodurch den Urease-Bildnern ihr pH-Optimum entzogen und die NH_3-Konzentration im Pansen begrenzt wird (JUHÁSZ und SZEGEDI, 1968; KAUFMANN, 1979).

- Vom Ausmaß der Resorption des NH_3 über die Pansenwand. Dieses ist nach JUHÁSZ (1970) von der Ammoniakkonzentration und vom pH-Wert des Panseninhaltes abhängig.

- Von der Passage des Panseninhaltes zu den distalen Abschnitten des Magen-Darm-Kanals.

Wie schon erwähnt, gelangt auch Harnstoff über den Speichel sowie aus dem Blut in die Vormägen. Aus den Ausführungen von JUHÁSZ (1970) ist zu entnehmen, daß es Mechanismen gibt, durch die trotz ungleichmäßiger oraler N-Aufnahmen ein über 24 Stunden gleichmäßig verteilter Einstrom von Harnstoff in den Pansen gewährleistet wird. Wenn nach Aufnahme von N-Verbindungen mit dem Futter die Blutharnstoffkonzentration ansteigt, steigt auch der Harnstoffgehalt im Speichel an. Gleichzeitig konnte aber festgestellt werden, daß nach Aufnahme von Harnstoff oder Kasein die Speichelsekretion für ca. 6 Stunden vermindert wurde, so daß dadurch weniger Speichel und damit Harnstoff in den Pansen gelangte.

Ein ähnlicher Ausgleichsmechanismus besteht in der Harnstoffdiffusion in den Pansen aus dem Blut. Für den rumino-hepatischen Kreislauf konnte nachgewiesen werden, daß bei niedrigerer Ammoniakkonzentration im Panseninhalt mehr Harnstoff aus dem Blut durch die Pansenwand in die Vormägen gelangt, als bei hoher Ammoniakkonzentration (WESTON und HOGAN, 1967). Dies beruht darauf, daß der Harnstoffeinstrom in den Pansen einem Konzentrationsgefälle folgt, wobei die Blutharnstoffkonzentration erst dann ansteigt, wenn die Ammoniakkonzentration im Panseninhalt bereits fällt (JUHÁSZ, 1962). Ammoniak diffundiert zum Teil unverändert aus dem Pansen in das Blut. Das Ausmaß

der Resorption ist dabei abhängig von der Ammoniakkonzentration im Panseninhalt und von dessen pH-Wert.

Es besteht ein linearer Zusammenhang zwischen der Ammoniakkonzentration im Panseninhalt und in der Pfortader (JUHÁSZ, 1962). Ebenso besteht ein linearer Zusammenhang zwischen der Konzentration an NH_3 in der Pfortader und in der Jugularvene. Von JUHÁSZ wurde bei einer Ammoniakkonzentration von ca. 40 mg/100 ml Pansensaft eine NH_3-Konzentration in der Pfortader von ca. 1000 µg/100 ml Blut und in der Jugularvene eine Konzentration von unter 200 µg/100 ml Blut festgestellt. JUHÁSZ bezeichnet diese Werte als physiologisch. Der Konzentrationsunterschied des Blutammoniakgehaltes vor und nach der Leberpassage ist ein Maß für die Entgiftungsfähigkeit der Leber. Diese ist allerdings begrenzt. So konnte JUHÁSZ feststellen, daß, wenn die Pansensaft-NH_3-Konzentration Werte über 100 mg/100 ml erreicht, die Werte im peripheren Blut in den toxischen Bereich ansteigen. Blut-Ammoniakkonzentrationen von 1 bis 2 mg % im venösen Blut der Wiederkäuer sind gesundheitsschädlich und solche von 4 bis 5 mg % sind tödlich (GRAVES und UNDERBIERG, 1961).

Auch in der Leber entsteht im Rahmen des Proteinstoffwechsels Ammoniak. NH_3 wird durch oxydative Desaminierung von Aminosäuren gebildet, die entweder über den täglichen Bedarf hinaus aus dem Darm resorbiert wurden oder die durch Abbau von körpereigenen Proteinen entstehen.

Freies Ammoniak ist für den Organismus stark toxisch. Es muß daher soweit wie möglich eliminiert

bzw. in ungiftige Substanzen umgebaut werden. Der Hauptentgiftungsweg des Ammoniaks ist die Synthese von Harnstoff. Diese Synthese vollzieht sich ausschließlich in der Leber, wobei ein Teil der beteiligten Enzyme in den Mitochondrien lokalisiert ist. Die Synthese verläuft in einer Kreisreaktion (Krebs-Henseleit-Zyklus), wobei aus 2 Molekülen NH_3 und 1 Molekül CO_2 1 Molekül Harnstoff und 1 Molekül Wasser gebildet werden. Die dabei beteiligten Enzyme verbrauchen sich nicht.

Weitere Entgiftungsmöglichkeiten bestehen darin, NH_3 an α-Ketoglutarat anzulagern. Die so entstehende Glutaminsäure dient als ungiftiges Reservoir von NH_3 für die Synthese nicht essentieller Aminosäuren (Transaminierung), oder sie kann durch Anlagerung eines weiteren NH_3-Moleküls in Glutamin umgewandelt werden. Glutamin kann direkt für die Synthese von Purin, Pyrimidin und Aminozucker herangezogen werden. Die Glutaminsäurebildung ist nicht leberspezifisch. Sowohl in der Pansenschleimhaut, als auch im Zentralnervensystem können in dieser Form erhebliche Mengen an Ammoniak gebunden werden (CHALUPA et al., 1970; BODA et al., 1975; DAVIDOVICH und BARTEY, 1977).

DER HARNSTOFF-STOFFWECHSEL BEIM WIEDERKÄUER

Der intermediäre Harnstoff-Stoffwechsel beginnt mit der Harnstoffsynthese in der Leber und endet mit der Harnstoffausscheidung durch die Nieren. Bevor der Harnstoff dem Körper durch den Urin verloren geht, unterliegt er verschiedenen Rückgewinnungsmechanismen. Diese zielen darauf ab, den Harnstoffstickstoff wieder den Pansen-Mikroorganismen zuzuführen, deren Protein ein wichtiger

Bestandteil der Proteinversorgung des Wiederkäuers darstellt. Als nierengängige Substanz muß der Harnstoff gut wasserlöslich sein. Somit ist es ihm möglich, sich ständig - gemäß dem Konzentrationsgefälle - in allen Wasserräumen des Organismus auszubreiten. Es ist daher nicht verwunderlich, daß Harnstoff sowohl im Speichel, als auch in der Milch nachzuweisen ist.

Die Blutharnstoffkonzentration beim Rind liegt nach Angaben in der Literatur zwischen 10 und 45 mg Harnstoff/100 ml Blut. Die Höhe der Blutharnstoffkonzentration ist von vielen Faktoren abhängig.

BERSCHAUER (1977) stellte in seinen Untersuchungen am Schwein fest, daß die BHK von folgenden Faktoren bestimmt wird:

- Zeitpunkt der Blutentnahme:
  Je nach Futterart stellte er fest, daß die BHK nach ca. 3 bis 6 Stunden von durchschnittlich 20 mg/100 ml Blut auf ca. 25 bis 35 mg/100 ml Blut anstieg.

- Prozentualer Proteinanteil der Futterration:
  Übersteigt der Proteinanteil der Futterration den Bedarf des Tieres, so wird das überschüssige Protein in der Leber vollständig abgebaut. Daraus resultiert eine Erhöhung der BHK.

- Proteinqualität der Futterration:
  Bei Verfütterung von Eiweiß geringerer biologischer Wertigkeit als BW 65 bis 70[1] nimmt die BHK zu, da mehr Protein umgesetzt werden muß, um den

---

(1)
BW = biologische Wertigkeit; prozentualer Anteil des resorbierten Proteins, der direkt für die Verwertung zur Verfügung steht.

Bedarf an essentiellen Aminosäuren zu decken.

- Wirk- und Mineralstoffe:
  Alle Stoffe, die geeignet sind den Protein - Anabolismus zu fördern, senken die BHK, da weniger Protein abgebaut wird.

Beim Wiederkäuer sind nach KAUFMANN (1982) die Ursachen für die Schwankungen der BHK vor allem in den unterschiedlich starken Umsetzungen in den Vormägen zu finden. Auch die von anderen Untersuchern festgestellten Einflüße auf die BHK, wie Jahreszeit, Laktationsstand, Leistung und Rasse sollen dadurch erklärt werden können.

Der Zusammenhang zwischen Kohlehydratgehalt und Proteingehalt der Futterration wurde bereits im Kapitel über den Ammoniakstoffwechsel dargestellt.Es läßt sich feststellen, daß die BHK beim Wiederkäuer sowohl bei Proteinüberversorgung und normaler Energieversorgung, als auch bei normaler Proteinversorgung und Energieunterversorgung ansteigt.

Auch durch verschiedene Krankheiten kann die Höhe der BHK verändert werden. Nach JUHÁSZ (1970) führt z.B. die Leberzirrhose zu einer Beeinträchtigung des Harnstoffsynthesevermögens, wodurch die BHK absinkt. Im Falle einer Pansen - Hyperkeratose wird die Aktivität der Glutaminsynthese der Pansenschleimhaut verringert. Daraus folgt eine Erhöhung des endogenen NH_3 Gehaltes, wodurch letzlich die BHK ansteigt (KUTAS, 1977). Desweiteren wird die BHK erhöht durch eine krankheitsbedingte Einschränkung des Vermögens der Nieren, Harnstoff auszuscheiden.

Die Proteinqualität hat beim Wiederkäuer im Gegensatz zum Schwein keinen Einfluß auf die Höhe der BHK, da die Möglichkeit besteht, das im Pansen synthetisierte bakterielle Protein zu verwerten. Die Pansenmikroorganismen benötigen aber nur den Stickstoffanteil des Futterproteins, um ihre Proteinsynthese ermöglichen zu können. Es ist sogar möglich, Wiederkäuer mit proteinfreien Rationen ausreichend zu versorgen, wenn den Pansenmikroben Stickstoff, z.B. in Form von Harnstoff, zugeführt wird.

Desweiteren können, bedingt durch den rumino-hepatischen Kreislauf, durch die Möglichkeit den mit dem Speichel in den Pansen gelangenden Harnstoff wieder zu verwerten, sowie durch die Möglichkeit, bei Proteinmangel die Harnstoffausscheidung über die Niere auf ein Minimum zu drosseln, fast keine vom Fütterungszeitpunkt abhängige Schwankungen der BHK festgestellt werden.

Der gesunde Organismus ist in der Lage, sehr hohe BHK-Werte ohne Beeinträchtigung seiner Gesundheit zu tolerieren. So konnten von ZUCKER und STEGER (1975) in einem Versuch mit exzessiv hoher Proteinzufuhr bei Zwergziegen Serumharnstoffwerte bis zu 130 mg/100 ml Serum erreicht werden. Hierzu ist es aber erforderlich, durch allmähliche Steigerung des Protein- bzw. NPN-Anteils der Futterration die am Harnstoffzyklus beteiligten Enzyme zu gewöhnen, da es sonst zu einer Ammoniakvergiftung kommen würde. So konnte JUHÁSZ (1958) bei Schafen die Harnstofftoleranz von 7 g Harnstoff in der Futterration pro Tag bis auf 50 g Harnstoff pro Tag steigern, ohne daß Vergiftungserscheinungen durch endogenes Ammoniak auftraten.

Aus dem Organismus wird der Harnstoff auf verschiedenen Wegen ausgeschieden:

- Über die Milch:
  Nach ECKARDT (1980) besteht eine sehr hohe Korrelation zwischen dem Blutharnstoffgehalt und dem Milchharnstoffgehalt. KAUFMANN (1982) stellte fest, daß nur bei geringerer Leistung (bzw. bei Proteingehalten < 13 % im Futter) konstante Harnstoffgehalte in der Milch und im Blut zu erwarten seien. Diese liegen bei 15 bis 20 mg % und resultieren aus dem Erhaltungsumsatz der Tiere. Bei höheren Leistungen und höheren Proteinrationen bestimmt zunehmend die Höhe des NH_3-Überschußes in den Vormägen die Harnstoffgehalte in Blut und Milch. Der entscheidende Faktor für die Höhe des Harnstoffgehaltes in der Milch ist daher der Proteingehalt der Ration bzw. das Verhältnis des verdaulichen Proteins zur Energieversorgung. Hohe Proteingehalte in der Ration führen zu hohen Harnstoffgehalten in der Milch. Bei Proteingehalten der Ration über 13 % entstammen etwa 90 % der anfallenden Harnstoffmenge aus NH_3-Überschüssen im Pansen.
  Abweichungen von dieser Beziehung werden durch die Energieversorgung bestimmt, wobei Energiemangel den Harnstoffgehalt erhöht und Energieüberschuß den Harnstoffgehalt senkt.

- Mit dem Harn:
  Auf diesem Weg wird die Hauptmenge des Harnstoffes ausgeschieden. 90 % der im Intermediärstoffwechsel nicht mehr benötigten Stickstoffverbindungen verlassen den Organismus über den Harn. Davon werden ca. 70 % in Form von Harnstoff ausgeschieden (JUHÁSZ, 1970). Die Nieren bilden beim Wiederkäuer ein wichtiges Regulativ in der Stickstoffversorgung

des Körpers. Wird Stickstoff in großen Mengen eingeführt, so steigt auch die Harnstoff-Clearance an. Diese ist unabhängig von der Wasserabsonderung über die Niere und beruht auf einer aktiven Harnstoffexkretion durch die Nierentubuli. Weiterhin ist die Wiederkäuerniere in der Lage, auch Ammoniak direkt auszuscheiden (JUHÁSZ und SZEGEDI, 1968). Unter Stickstoffmangelbedingungen kann durch die Nierentubuli bis zu 95 % der glomerulär filtrierten Harnstoffmenge zurückdiffundieren (bei Nichtwiederkäuern maximal 50 %).

Nach JUHÁSZ (1970) besitzt der Speichel eine etwa 30 % geringere Konzentration an Harnstoff als das Blut. Dies ist allerdings kein echter Ausscheidungsweg, da der Harnstoff im Speichel über den Pansen dem Organismus wieder zugeführt wird.

Ein enger Zusammenhang besteht nach JUHÁSZ (1970) zwischen dem Wasserhaushalt und der N-Verteilung. Wasseraufnahme fördert die Resorption des Ammoniaks, sowie die Weiterbeförderung des Panseninhaltes. Daraus resultiert eine Abnahme des Ammoniakgehaltes in den Vormägen. Bei Zufuhr von Harnstoff und anderen NH_3-liefernden Stoffen steigt die Ammoniakkonzentration im Pansen. Durch Ammoniakresorption wird eine große Wassermenge aus dem Pansen entfernt. Wenn die Ammoniakkonzentration im Wasserraum des Organismus ansteigt, wird die Speichelsekretion vermindert. Dadurch und durch die verstärkte Wasserresorption aus den Vormägen erhöht sich der Flüssigkeitsinhalt des Wasserraums, wodurch sich die Harnmenge vermehrt. Es tritt Polyurie auf. Bei Polyurie wird vermehrt Harnstoff aus dem Organismus ausgeschieden. Bei Absinken der Ammoniakkonzentration in Pansen und Blut regulieren sich diese Vorgänge selbst.

AMMONIAK ALS SCHADGAS IN DER STALLUFT

Ammoniak ist neben Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff eines der Hauptschadgase in der Stalluft. Ammoniak entsteht in der Stalluft hauptsächlich durch bakteriell-enzymatischen Abbau von Harnstoff und Proteinresten in den tierischen Exkrementen. So können z. B. aus den Exkrementen eines Rindes, das täglich zwischen 75 und 200 g Harnstoff ausscheidet, bei vollständigem Abbau ca. 50 bis 100 Liter gasförmiges Ammoniak entstehen. Da ein Abtrocknen der Oberfläche der Exkremente den Übergang aus der flüssigen Phase in die Gasphase behindert, und da Schadgase bei intakter ausreichender Belüftung sofort aus der Stalluft entfernt werden, gelangt nur ein Teil der entstandenen Ammoniakmenge in die Atemluft der Tiere. Die Geruchsschwelle für Ammoniak liegt nach Angaben in der Literatur bei ca. 5 ppm (v/v) (MELHORN, 1979). Dieser Wert konnte auch durch eigene Messungen bestätigt werden. Ein Autorenkollektiv (1974) legte für die Luft-Ammoniakkonzentration einen Kurzzeitgrenzwert von 0,3 mg Ammoniak/ m^3 Luft (≙ 0,4 ppm (v/v)) fest. Daraus kann geschlossen werden, daß bereits Konzentrationen unter der Geruchsschwelle gesundheitsschädigend wirken.

Nach DININGS et. al. (1948) treten Symptome der Ammoniakvergiftung auf, wenn die Blut-Ammoniakkonzentration über 2 mg % ansteigt. Die Symptome bestehen in einem Lungenödem, schwerer Kolik, Zittern, Stöhnen und forcierter Atmung. Der Tod tritt unter heftigen Krämpfen ein (KOENIG und KOENIG, 1949, PRIOUZEAU, 1951).

EIGENE UNTERSUCHUNGEN

METHODIK

Versuchstiere und deren Fütterung

Für die Versuche standen ein weibliches (VT_1) und ein männliches (VT_2) ausgewachsenes Schaf zur Verfügung. Beide Tiere standen gleichzeitig im Versuch.

	Rasse	Alter	Gewicht	Geschlecht
VT_1	MLR	ca. 2 Jahre	45 kg	♀
VT_2	MLR	ca. 2 Jahre	60 kg	♂

(MLR = Merino Landrasse)

Der Ernährungszustand beider Tiere war gut. Die klinische Untersuchung der Kreislauf-, Atmungs-, und Verdauungsorgane ergab keine krankhaften Befunde.
VT_1 säugte während der Versuche zwei ca. 3 Monate alte Lämmer.
Die Fütterung erfolgte täglich um ca. 7^{30} Uhr und um ca. 14 Uhr.
Beide Versuchstiere und die Lämmer erhielten als Grundfutter Heu guter Qualität (1. Schnitt in der Blüte) ad libitum. Dazu wurden täglich ca. 5 Pfund pelletiertes Mischfutter (DLG - Milchleistungsfutter I) gefüttert. Dieses enthält pro 1000 g etwa 130 g verd. Rohprotein und 600 Stärkeeinheiten. Das Mischfutter wurde bevorzugt gefressen. VT_2 , das aggressivere Tier, verzehrte offensichtlich eine größere Ration als VT_1.
Die Lämmer ernährten sich von Milch, Heu und Kraftfutter. Wasser stand zur freien Aufnahme zur Verfügung.

Beschaffenheit des Versuchsstalles

Der Versuchsstall hat eine Grundfläche von ca. 22 m^2 und ist 2,5 m hoch. Er ist in 2 Buchten aufgeteilt, die durch einen etwa 1,5 m breiten Mittelgang vollständig voneinander getrennt sind. In einer dieser Buchten standen die 4 Schafe. Belüftet wird der Stall durch 2 Kippfenster an der Stirnseite des Stalles und durch eine Tür, die vom Mittelgang ins Innere eines größeren Gebäudes führt. Bei guter Belüftung war im Stall geruchsmäßig kein Ammoniak feststellbar.(Geruchsschwelle: 5 ppm). Die Stalltemperatur war von der Außentemperatur abhängig. Sie konnte an heißen Tagen bei geschlossenen Fenstern und geschlossener Tür (dies war für die Versuchsdurchführung erforderlich) bis zu 25°C erreichen. Die Luftfeuchtigkeit war dann sehr hoch; die Tiere schwitzten stark und begannen zu hecheln (Atemfrequenz bis 100 Atemzüge pro Minute gegenüber ca. 30 Atemzügen pro Minute bei kühler Temperatur). Der Stall wurde täglich entmistet und mit Stroh eingestreut.

Versuchsanordnung

Geplant waren Versuche, bei denen der Stalluft Ammoniak zugesetzt werden sollte. Dieser Ammoniakzusatz sollte in unterschiedlichen Konzentrationen und über unterschiedlich lange Zeiträume aufrechterhalten bleiben. Danach wurde der Stall jeweils gut belüftet, so daß die Ammoniakkonzentration der Stalluft wieder auf den Ausgangswert zurückging. Vor, während und nach dieser Zeit wurden in stündlichem Abstand Blutproben entnommen und darin die Ammoniak- und die Harnstoffkonzentration gemessen.

Es wurden insgesamt 12 Versuche durchgeführt.
2 Vorversuche dienten der Ermittlung der Blutharnstoff- und Blutammoniaknormalwerte während 24 Stunden.
Danach folgten 10 Belastungsversuche, bei denen über mehrere Stunden Ammoniak in der Stalluft verdampft wurde.

Die Versuchsaufstellung ist der folgenden Übersicht zu entnehmen. Die Versuche sind von 1 bis 12 durchnummeriert. Es sind jeweils die Versuchsdauer, die Anzahl der entnommenen Blutproben, die Länge des Verdampfungszeitraumes, die durchschnittliche Höhe der dabei gemessenen Luftammoniakkonzentration und der Hämatokrit der entnommenen Blutproben angegeben.

Tabelle 1: Übersicht über die mit den beiden Versuchsschafen durchgeführten Experimente

Vers.Nr.	Versuchstier	Versuchsdauer	Zahl der Blutproben	Dauer der NH_3 - Verdampfung	Luft-NH_3-Konzentration während der Versuche	HK
1.	VT_1	23 Std.	24	-	-	27,9
2.	VT_1	11 Std.	12	2 1/2 Std.	103 ppm (v/v)	26,17
3.	VT_1	11 Std.	12	4 1/2 Std.	72 ppm (v/v)	27,9
4.	VT_1	12 Std.	13	5 1/2 Std.	56 ppm (v/v)	28
5.	VT_1	12 Std.	13	5 1/2 Std.	34 ppm (v/v)	28
6.	VT_1	12 Std.	13	5 1/2 Std.	32 ppm (v/v)	28,5
7.	VT_2	23 Std.	24	-	-	30
8.	VT_2	11 Std.	12	2 1/2 Std.	100 ppm (v/v)	30
9.	VT_2	13 Std.	14	6 1/2 Std.	59 ppm (v/v)	30
10.	VT_2	12 Std.	13	6 1/2 Std.	49 ppm (v/v)	32
11.	VT_2	12 Std.	13	6 1/2 Std.	35 ppm (v/v)	32
12.	VT_2	12 Std.	13	6 1/2 Std.	34 ppm (v/v)	31,5

Technik der Blutentnahme und Probenkonservierung bis zur Auswertung

Das Blut wurde über einen in die Jugularvene eingeführten Dauerkatheter gewonnen. Der Katheter wurde ca. 1/2 Stunde vor der ersten Blutentnahme gelegt. Zwischen den Entnahmen wurde der Katheter mit physiologischer Kochsalzlösung, die mit Liquemin^{R} als Gerinnungshemmer im Verhältnis 2 : 1000 vermischt war, gefüllt, um eine Verlegung des Lumens mit geronnenem Blut zu verhindern.

Um eine Kontamination des Blutes mit Luftammoniak zu vermeiden, mußte es unter nahezu vollständigem Luftabschluß gewonnen, aufbereitet und konserviert werden. Hierzu wurde das Blut in eine 5 ml Einmalspritze direkt aus dem Katheter aufgezogen und über eine Injektionsnadel in ein EDTA - beschichtetes Blutröhrchen verbracht. Nach Verschluß des Einstichloches mit Parafilm konnte in diesem Röhrchen die Probe ca. 10 Minuten bei 3 - 4000 Umdrehungen pro Minute zentrifugiert werden. Danach wurde das Plasma über eine Injektionsnadel in eine Spritze aufgenommen und in Mikroküvetten injiziert. In diesen wurde das Plasma bei -18^{o}C eingefroren.

In vorangegangenen Laboruntersuchungen war festgestellt worden, daß sich der Ammoniakgehalt in der gefrorenen Plasmaprobe bis ca. 3 Tage nach Probengewinnung unverändert gehalten hat.

Der Harnstoffgehalt wurde aus denselben Proben analysiert.

Bestimmungsmethoden

Die Harnstoffkonzentration im Plasma wurde mit Hilfe der "Test-Combination Harnstoff" der Firma Boehringer Mannheim GmbH bestimmt. Dies ist ein enzymatischer Farbtest, der unter Ausnützung der Berthelot-Reaktion abläuft. Dabei wird Harnstoff und H_2O mittels Urease in Ammonium übergeführt. Die Ammoniumionen reagieren anschließend mit Phenol und Alkalihypochlorit unter Bildung eines Farbkomplexes. Die Messung erfolgte mit einem Photometer bei einer Wellenlänge von 546 nm gegen einen Reagenzienleerwert. Die dabei gemessene Extinktion wurde dann mit der Extinktion einer Standardlösung verglichen und daraus der Gehalt an Harnstoff berechnet.

Die Ammoniakkonzentration im Plasma wurde mit dem "Monotest^R Ammoniak", gleichfalls von der Firma Boehringer Mannheim GmbH, gemessen. Dies ist ein enzymatischer UV-Test, der nach dem Prinzip der Methode von Da Fonseca-Wollheim durchgeführt wird. Dabei erfolgt eine Umwandlung von α-Ketoglutarat mit NH_4^+-Ionen und NADPH unter Katalyse von GLDH zu L-Glutamat, $NADP^+$ und H_2O. Der NADPH-Verbrauch aus der Reagenzienlösung ist dann proportional dem Ammoniakgehalt der zur Reagenzienlösung zugesetzten Probe.

Die Messung erfolgte mit einem Photometer bei einer Wellenlänge von 334 nm. Sowohl für den Reagenzienleerwert, als auch für die Probe wurde dreimal im Abstand von 10 Minuten die Extinktion bestimmt, wobei nach der ersten und zweiten Messung jeweils 0,02 ml GLDH-Lösung zugesetzt werden mußte. Nach der Formel $(E_1-E_2) - (E_2-E_3)$ konnte für den Leerwert und die Probe jeweils die Extinktionsdifferenz bestimmt

werden, die, wiederum voneinander abgezogen, mit einer bestimmten Maßzahl multipliziert, den NH_3-Gehalt der Probe ergab.

Genauigkeit

Die Genauigkeit des NH_3-Testes wurde an Hand eines Kontrollplasmas der Fa. Boehringer gemessen. Dieses enthält in 100 ml 100 µg NH_3.
Bei Messung von 12 Proben ergab sich ein Durchschnittswert von $\bar{x}$ = 98,89 µg NH_3/100 ml bei einer Standardabweichung von s = 1,94.
Die Genauigkeit des Harnstofftestes wurde mit dem Kontrollserum Precinorm der Fa. Boehringer überprüft. Dieses enthält in 100 ml 50,9 mg Harnstoff. Hierbei ließ sich in 10 Versuchen ein Durchschnittswert von $\bar{x}$ = 50,74 mg Harnstoff bei einer Standardabweichung von s = 1,05 ermitteln.

Technik der Ammoniakverdampfung und der Bestimmung des NH_3-Gehaltes in der Luft

Der künstliche Ammoniakzusatz zur Stalluft konnte erzeugt werden, indem eine 25-prozentige wässrige Ammoniaklösung an die Stallwand bzw. den Stallboden gespritzt wurde. Durch die Stallwärme verdampfte das Ammoniak von selbst. Aus einer Tabelle konnte die Menge des zu verdampfenden Ammoniaks entnommen werden (KALICH, 1981). Um im Versuchstall z.B. eine Konzentration von 100 ppm v/v Ammoniak/cbm Luft zu erreichen, müßten 17,5 ml 25-prozentige NH_3-Lösung im Stall verteilt werden . Da der Stall aber nicht vollständig abgedichtet werden konnte, mußte letztendlich erheblich mehr Ammoniak verdampft werden.

Mit einem Drägerschen Gasspürgerät, bei dem durch eine mit Indikator gefüllte Glasröhre eine bestimmte Menge

Luft eingezogen wird, konnte jeweils die Luftammoniakkonzentration gemessen werden.

ERGEBNISSE

Ergebnisse der Vorversuche zur Ermittlung von Kontrollwerten

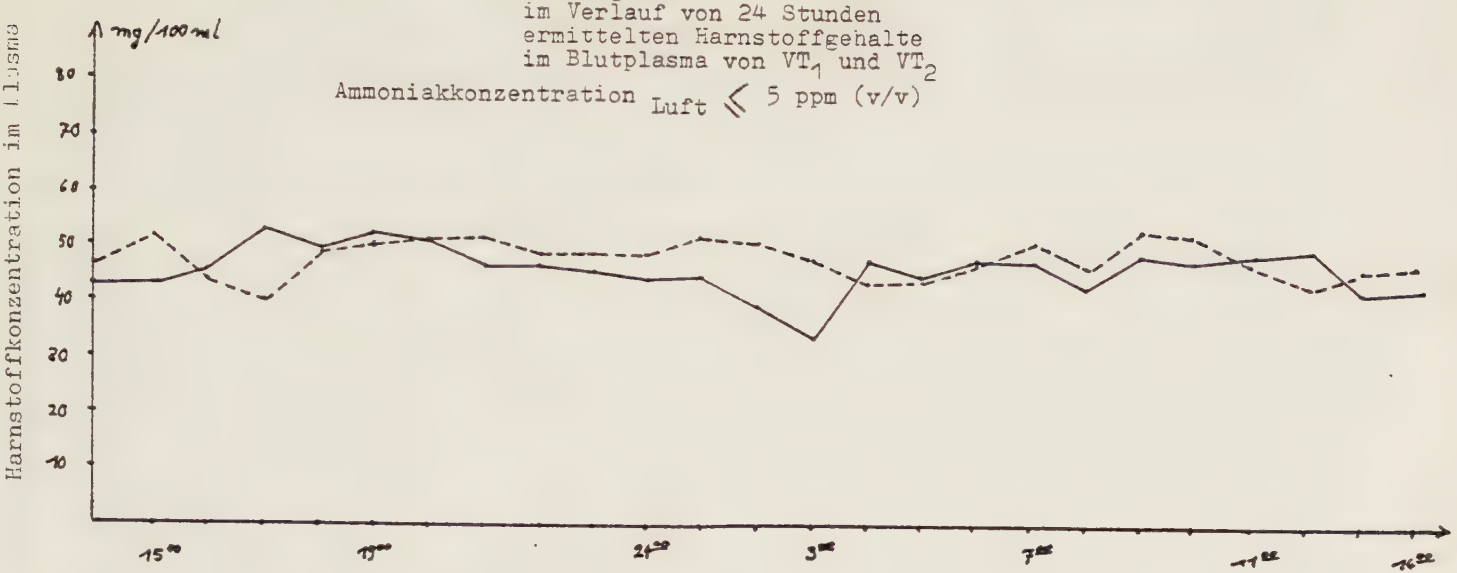
Über einen Zeitraum von 24 Stunden, und zwar von 16 Uhr bis 15 Uhr des nächsten Tages, wurden in stündlichen Intervallen 24 Blutproben entnommen. Die dabei ermittelten Blutkonzentrationen von NH_3 und Harnstoff sind in Tabelle 2 aufgeführt; der Verlauf der Blutspiegel ist aus den Diagrammen (Abbildung 1 und 2) ersichtlich.

Tabelle 2: Im Vorversuch mit VT_1 und VT_2 ermittelte Blutkonzentrationen an NH_3 und Harnstoff

Uhrzeit	Ammoniak µg/100 ml		Harnstoff mg/100 ml	
	VT_1	VT_2	VT_1	VT_2
16 Uhr	124,30	108,66	47,6	44,64
17 Uhr	110,99	63,73	53,98	40,68
18 Uhr	122,64	57,07	50,67	49,32
19 Uhr	89,36	65,39	53,15	51,36
20 Uhr	72,72	53,75	51,85	52,81
21 Uhr	81,04	57,07	47,48	52,68
22 Uhr	56,08	57,07	47,60	49,71
23 Uhr	62,73	57,07	46,30	49,21
24 Uhr	77,71	57,07	44,90	49,58
1 Uhr	91,02	57,07	45,82	52,68
2 Uhr	72,72	55,41	40.07	51,20
3 Uhr	64,40	60,40	34,35	48,22
4 Uhr	79,37	60,40	48,1	44,26
5 Uhr	84,36	57,07	45,91	44,87
6 Uhr	64,40	55,41	48,55	49,58
7 Uhr	67,72	57,07	48,55	51,57
8 Uhr	66,73	63,73	43,97	47,35
9 Uhr	48,42	60,40	49,46	54,17
10 Uhr	43,43	65,39	48,1	53,30
11 Uhr	63,40	58,74	49,84	48,22
12 Uhr	63,40	83,70	50,32	43,92
13 Uhr	88,36	75,38	42,79	47,40
14 Uhr	70,05	57,07	43,86	47,88
15 Uhr	71,72	113,65	43,39	52,20

Abbildung 1: Graphische Darstellung der in den Vorversuchen zur Gewinnung von Kontrollwerten im Verlauf von 24 Stunden ermittelten Harnstoffgehalte im Blutplasma von VT_1 und VT_2

Ammoniakkonzentration $_{Luft} \leqslant$ 5 ppm (v/v)

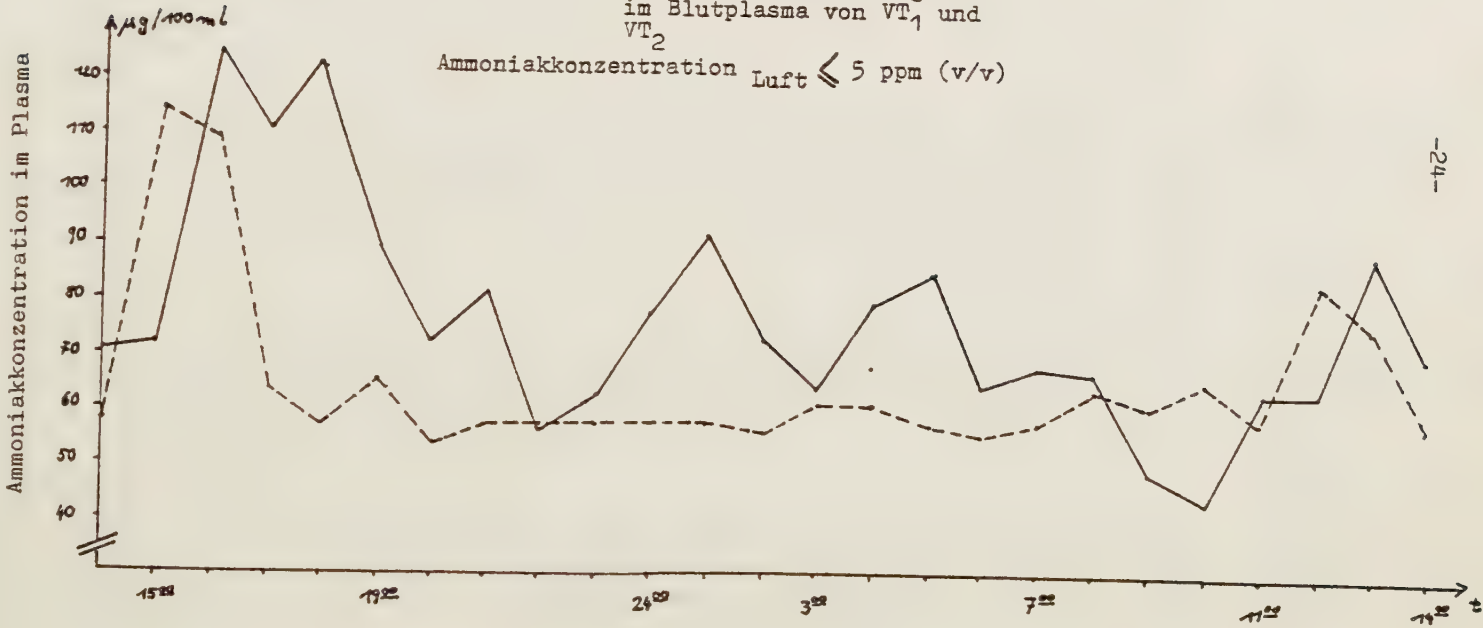


———— = VT_1

– – – – – = VT_2

Abbildung 2: Graphische Darstellung der in den Vorversuchen zur Gewinnung von Kontrollwerten im Verlauf von 24 Stunden ermittelten Ammoniakgehalte im Blutplasma von VT_1 und VT_2

Ammoniakkonzentration $_{Luft} \leqslant$ 5 ppm (v/v)



——————— = VT_1

– – – – – = VT_2

Aus der Tabelle 2 und den Abbildungen 1 und 2 sind die unter den gewöhnlichen Haltungsbedingungen ermittelten Ammoniakgehalte im Blut von VT_1 und VT_2 ersichtlich. Die Harnstoffwerte schwanken zwischen 35 und 54 mg Harnstoff/100 ml Blut bei VT_1 und zwischen 40 und 35 mg/100 ml Blut bei VT_2. Aus beiden Graphiken ist zu erkennen, daß kaum signifikante Schwankungen in der Höhe des Blutharnstoffgehaltes während 24 Stunden vorkommen. Insbesondere kann kein Zusammenhang mit den Fütterungszeitpunkten um 7^{30} Uhr und um 14 Uhr festgestellt werden.

Beim Betrachten des 24-stündigen Verlaufes der Ammoniakkonzentration im Blut von VT_1 (Versuch 1) sind die vergleichsweise stärkeren Schwankungen als bei VT_2 (Versuch 2) auffällig. Hierzu muß gesagt werden, daß beim Verarbeiten der Blutproben aus Versuch Nr. 1 (VT_1) diese mehrfach mit Außenluft in Berührung kamen. Nachdem die Verarbeitung der Proben dann in der anfangs beschriebenen Weise geändert wurde, konnte, wie in Abbildung 2 (VT_2) zu sehen ist, festgestellt werden, daß die Ammoniakkonzentration während 24 Stunden nur geringe Schwankungen aufwies. Dies war zu erwarten, da bei intakter Leberfunktion das Ammoniak aus der Pfortader sofort zu Harnstoff entgiftet wird. Die durchschnittliche Ammoniakkonzentration im Blut von VT_2 beträgt 60 µg/100 ml.

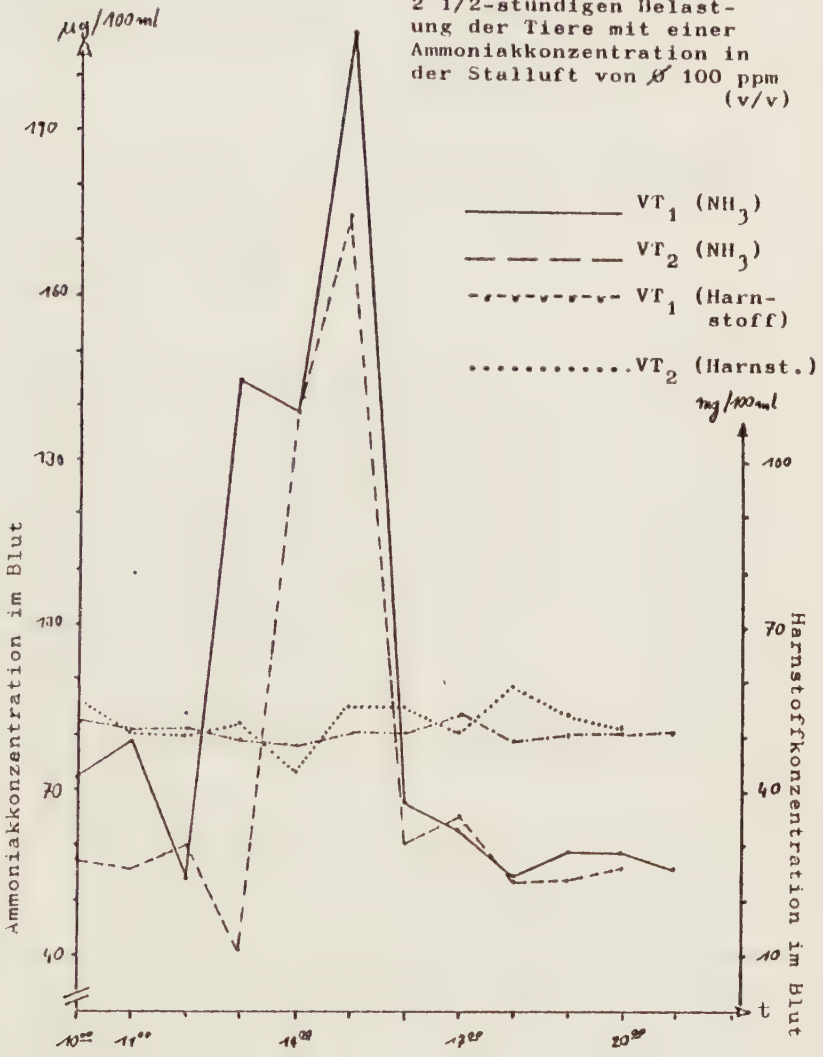
Wie aus Abbildung 2 zu ersehen ist, war bei beiden Versuchstieren ein 2 Stunden dauernder deutlicher Anstieg der Ammoniakkonzentration festzustellen. Eine gleichartige Abweichung war auch in den anderen Versuchen, in direktem Anschluß an das Einführen des Katheters zu beobachten. Unter Umständen liegt dies daran, daß die Tiere zum Setzen des Katheters für etwa 10 Minuten in Rückenlage gebracht werden mußten, wodurch der Ruktus für sie unmöglich wurde. Als Folge davon steigt der Panseninnendruck an, wodurch mehr Ammoniak als sonst in die Blutgefäße des Pansens gelangen müßte.

Ergebnisse der Belastungsversuche

Im Anschluß an die Vorversuche folgten zunächst zwei Versuche, bei denen über einen Zeitraum von 2 1/2 Stunden eine Ammoniakkonzentration in der Luft von etwa 100 ppm(v/v) erzeugt wurde (Nr. 2 und 8 der Versuchsanordnung). Die gesamte Versuchsdauer erstreckte sich dabei jeweils über einen Zeitraum von 11 Stunden.
Die in diesem Experiment gemessenen Ammoniak- und Harnstoffkonzentrationen im Blut der Versuchstiere sind in Abbildung 3 und Tabelle 3 dargestellt.

Abbildung 3:

Ammoniak- und Harnstoffkonzentration im Blut von VT_1 und VT_2 bei einer 2 1/2-stündigen Belastung der Tiere mit einer Ammoniakkonzentration in der Stalluft von ø 100 ppm (v/v)



3	3	3	84	84	140	4	4	4	4	3	3	ppm (v/v)

Luftammoniakkonzentration (VT_1)

3	3	4	30	60	100	25	5	8	3	3		ppm (v/v)

Luftammoniakkonzentration (VT_2)

Tabelle 2: Ammoniak- und Harnstoffspiegel im Blut von VT_1 und VT_2 bei einer 2 1/2-stündigen Belastung der Tiere mit einer Ammoniakkonzentration von Ø 100 ppm (v/v) in der Stalluft

Zeitpunkt der Blutentnahme	Ammoniakkonzentration im Blut (ug/100 ml)		Harnstoffkonzentration im Blut (mg/100 ml)		Ammoniakkonzentr. in d. Luft ppm (v/v)	
	VT_1	VT_2	VT_1	VT_2	VT_1	VT_2
10 Uhr	72,72	57,57	52,73	55,25	3	3
11 Uhr	79,37	55,91	51,09	51,94	3	3
12 Uhr	54,75	60,07	51,33	50,87	3	4
13 Uhr	141,61	41,77	49,45	52,88	84	30
14 Uhr	138,94	141,61	48,28	43,99	84	60
15 Uhr	208,17	174,89	50,86	55,97	140	100
16 Uhr	68,39	60,07	51,09	56,20	4	25
17 Uhr	63,40	65,06	54,61	51,34	4	5
18 Uhr	54,91	53,41	49,92	59,64	4	5
19 Uhr	58,57	54,01	50,39	54,23	4	3
20 Uhr	59,07	56,6	50,46	52,32	3	3
21 Uhr	56,74	-	50,34	-	3	-

Bei beiden Versuchstieren ist festzustellen, daß im Anschluß an die NH_3 - Verdampfung die Ammoniakkonzentration im Blut parallel zur Erhöhung der Luft - Ammoniakkonzentration ansteigt. Nach Beendigung der Ammoniakbelastung fällt die Ammoniakkonzentration im Blut wieder auf den Ausgangswert zurück.
Im Gegensatz hierzu zeigt der Harnstoffspiegel im Blut keine Konzentrationsänderung, die zu dem Ammoniakgehalt der Stalluft in Beziehung gebracht werden könnte.

Es war zu vermuten, daß eine Erhöhung der Blut-Ammoniakkonzentration eine Erhöhung der Blut-Harnstoffkonzentration nach sich ziehen würde. Ausgehend von der Überlegung, daß eventuell für eine deutlich meßbare Erhöung der Blut-Harnstoffkonzentration der Zeitraum der Ammoniakbelastung zu kurz gewesen sei, wurde daher während der folgenden Versuche dieser Zeitraum auf 5 bis 6 Stunden ausgedehnt. Zudem variierten die Versuche durch eine jeweils unterschiedlich hohe durchschnittliche Luft-Ammoniakkonzentration während des Verdampfungszeitraumes.
Es mußte versucht werden, während dieser 5 bis 6 Stunden eine annähernd konstante Luft-Ammoniakkonzentration aufrecht zu erhalten. Erschwerend wirkte sich hierbei aus, daß der Stall schlecht abzudichten war und daß zum Zweck der Blutentnahme der Stall immer wieder geöffnet werden mußte. So lag die Ammoniakkonzentration der Luft vor und nach den Messungen zum Teil über, zum Teil unter den gemessenen Durchschnittswerten.

Die Ergebnisse dieser Versuche sind in den Abbildungen 4 und 5 (VT_1) und 6 und 7 (VT_2) und den Tabellen 4 und 5 dargestellt.

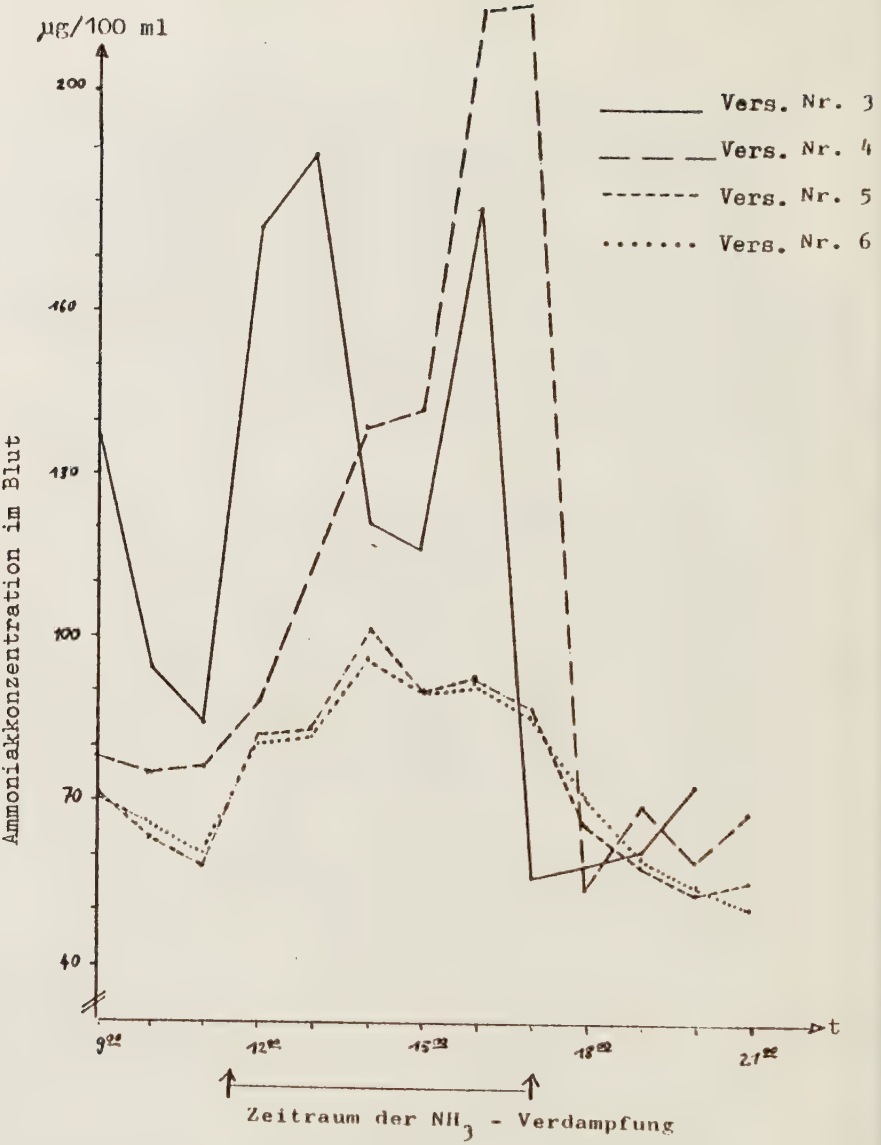
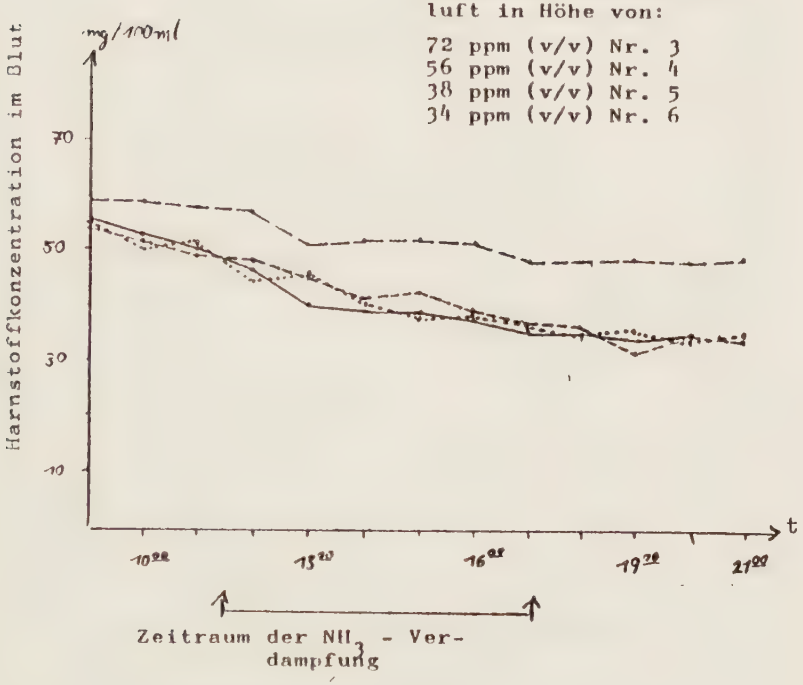


Abbildung 4: Konzentration des Blutammoniakgehaltes von VT_1 bei einer 5 1/2-stündigen Belastung mit Ammoniak über die Stalluft, in Höhe von:

72 ppm (v/v) Nr. 3
56 ppm (v/v) Nr. 4
38 ppm (v/v) Nr. 5
34 ppm (v/v) Nr. 6

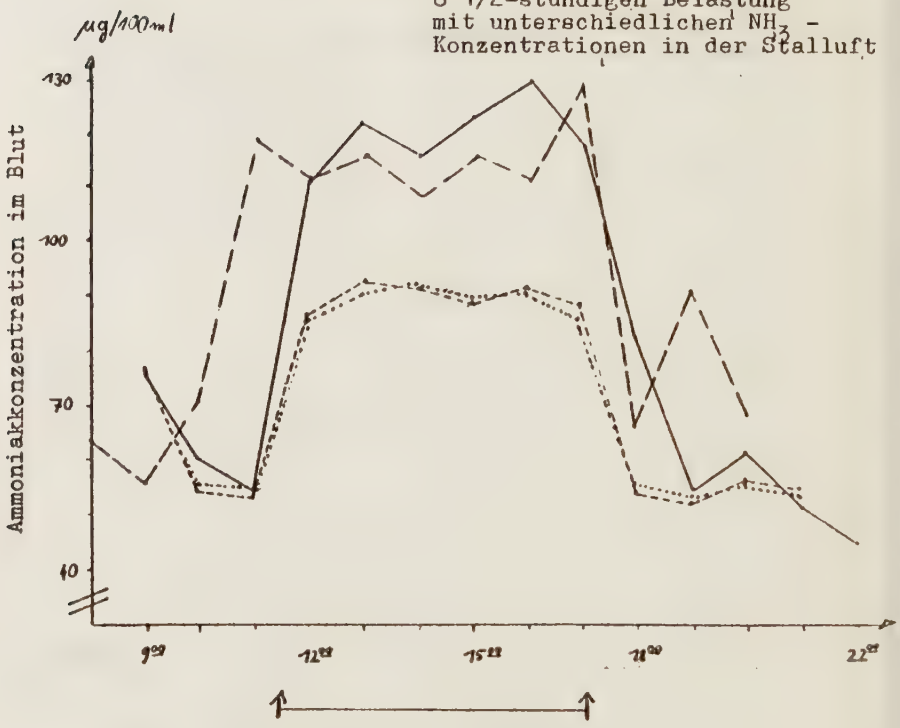
Abbildung 5: Blut-Harnstoffgehalt von VT_1 bei einer 5 1/2-stündigen Belastung mit Ammoniak über die Stallluft in Höhe von:

72 ppm (v/v) Nr. 3
56 ppm (v/v) Nr. 4
38 ppm (v/v) Nr. 5
34 ppm (v/v) Nr. 6



Nr. 3
Nr. 4
Nr. 5
Nr. 6

Abbildung 6: Ammoniakkonzentration im Blut von VT_2, bei einer 6 1/2-stündigen Belastung mit unterschiedlichen NH_3 - Konzentrationen in der Stalluft



———————— 59 ppm (v/v) Nr. 9

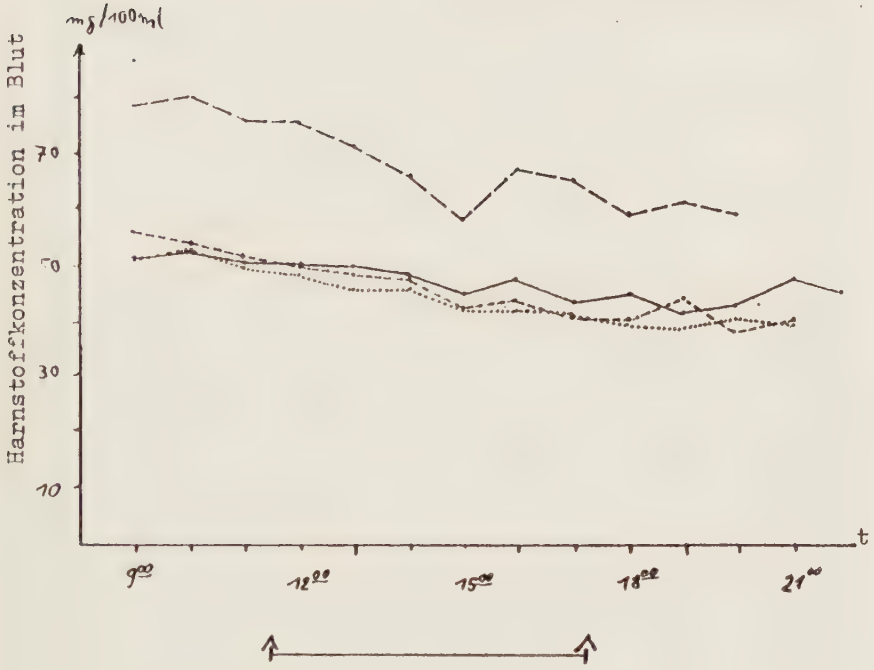
— — — — — 49 ppm (v/v) Nr. 10

---------- 35 ppm (v/v) Nr. 11

..... 34 ppm (v/v) Nr. 12

Abbildung 7:

Harnstoffkonzentration im Blut von VT_2, bei einer 6 1/2-stündigen Belastung mit unterschiedlichen NH_3-Konzentrationen in der Stalluft



Verdampfungszeitraum für NH_3

_____ 59 ppm (v/v) Nr. 9

_ _ _ _ _ 49 ppm (v/v) Nr. 10

---------- 35 ppm (v/v) Nr. 11

.... 34 ppm (v/v) Nr. 12

Tabelle 4: Ammoniak- und Harnstoffspiegel im Blut von VT_1 bei einer 5 1/2-stündigen Belastung des Tieres mit unterschiedlichen NH_3 - Konzentrationen in der Stalluft

NH_3 - Verdampfungsperiode	Nummer des Versuches							
	3		4		5		6	
	LAK 72 ppm		LAK 56 ppm		LAK 38 ppm		LAK 34 ppm	
Zeitp. d. Blutentn.	BAK	BHK	BAK	BHK	BAK	BHK	BAK	BHK
9 Uhr	136,5	56,1	78,2	59,6	71,3	54,2	70,2	55,7
10 Uhr	94,9	53,3	74,9	59,3	63,2	52,4	65,4	51,1
11 Uhr	84,9	50,8	76,5	58,9	58,4	49,1	60,6	52,0
12 Uhr	174,7	47,4	88,2	57,7	82,1	49,4	80,2	47,5
13 Uhr	188,0	40,5	-	52,3	83,9	45,1	82,3	45,3
14 Uhr	121,5	39,8	138,1	52,1	100,2	42,5	95,6	41,1
15 Uhr	116,5	39,7	141,4	53,0	90,5	43,1	90,7	39,8
16 Uhr	178,5	38,5	214,6	52,2	93,3	39,9	92,2	39,9
17 Uhr	56,6	36,5	215,7	49,4	87,1	36,5	85,4	36,4
18 Uhr	58,2	35,7	54,9	49,5	65,2	37,9	70,4	35,7
19 Uhr	61,7	34,9	69,9	49,7	58,1	32,2	60,7	37,1
20 Uhr	73,2	35,2	59,9	49,1	53,5	35,1	54,7	34,9
21 Uhr	-	-	68,2	49,8	55,1	34,7	50,9	35,0

LAK = Ø Ammoniakkonzentration in der Stalluft während der Belastungsperiode

BAK = Ammoniakkonzentration im Blut µg/100 ml

BHK = Harnstoffkonzentration im Blut

Tabelle 5: Ammoniak--und Harnstoffspiegel im Blut von VT_2 bei einer 6-stündigen Belastung des Tieres mit unterschiedlichen NH_3 - Konzentrationen in der Stalluft

Nummer des Versuches

	9 LAK 59 ppm		10 LAK 49 ppm		11 LAK 35 ppm		12 LAK 34 ppm	
Zeitp. d. Blutentn.	BAK	BHK	BAK	BHK	BAK	BHK	BAK	BHK
9 Uhr	75,4	52,2	55,3	79,7	76,5	56,2	77,5	52,2
10 Uhr	60,0	53,1	70,3	80,8	54,9	54,1	55,1	53,1
11 Uhr	54,4	51,4	118,5	76,4	53,9	52,9	54,8	50,4
12 Uhr	110,5	50,7	111,9	76,9	87,2	50,1	85,1	49,2
13 Uhr	121,1	50,3	115,2	72,5	92,8	49,8	90,4	46,6
14 Uhr	115,6	49,8	108,5	66,9	91,5	48,1	92,5	47,9
15 Uhr	122,4	47,8	115,2	59,6	88,7	44,9	89,1	42,6
16 Uhr	128,3	48,1	111,9	68,6	91,9	44,5	91,1	43,2
17 Uhr	117,6	45,2	128,5	66,3	88,8	41,9	86,9	41,1
18 Uhr	83,1	46,2	66,9	60,0	54,7	40,7	55,1	40,6
19 Uhr	54,7	42,6	91,9	62,9	52,4	40,5	53,3	39,2
20 Uhr	61,1	43,4	68,6	60,6	55,1	39,1	56,2	41,1
21 Uhr	50,8	48,3	-	-	55,0	40,1	54,1	40,4

NH_3 - Verdampfungsper.

LAK = Ø Ammoniakkonzentration in der Stalluft während d. Belastungsperiode
BAK = Ammoniakkonzentration im Blut µg/100 ml
BHK = Harnstoffkonzentration im Blut mg/100 ml

Den voranstehenden Abbildungen und Tabellen ist zu entnehmen, daß sich auch bei diesen Versuchen die Ammoniakkonzentration im Blut parallel zum Ammoniakgehalt in der Stalluft verändert. Bei den Blut - Harnstoffkonzentrationen konnte keine Erhöhung in Abhängigkeit von der Ammoniakkonzentration der Luft festgestellt werden. Während der Versuche erfolgte sogar ein kontinuierlicher Abfall der Harnstoffkonzentration. Dieser Abfall betrug bei den Versuchen Nr. 3,5 und 6 sogar 20 mg.

Bei Versuch Nr. 4 und Nr. 10 ist ein deutlich höheres Niveau der Harnstoffgehalte im Blut von VT_1 und VT_2 auffällig. Dennoch erfolgt der Verlauf der gemessenen Werte parallel zu denjenigen in den übrigen Versuchen. Da beide Versuche ungefähr zur gleichen Zeit unternommen wurden, muß angenommen werden, daß diese Niveauverschiebung auf Grund der Meßtechnik zustande gekommen ist.

Während des Belastungszeitraumes zeigten beide Versuchstiere leichte Verhaltensänderungen. So konnten geringe Unruhe, frequentere Atmung und Schweißausbruch festgestellt werden. Dies sind sicherlich Reaktionen des Organismus auf den hohen Ammoniakgehalt in der Stalluft.

Der Hämatokrit, der bei allen Versuchen regelmäßig mitbestimmt wurde, zeigte keine versuchsbedingten Veränderungen. Auch war der Wasserverbrauch an Versuchstagen nicht höher, als zu anderer Zeit.

Statistische Auswertung der Versuche

Es wurde die Korrelation zwischen der Ammoniakkonzentration in der Luft und derjenigen im Blut, sowie die Korrelation zwischen der Luft-Ammoniak- und der Blut-Harnstoffkonzentration berechnet. Desweiteren wurde jeweils die Ausgleichsgerade, deren Steigung und deren Schnittpunkt mit der y-Achse ermittelt.

Versuche mit VT_1:

- Korrelationskoeffizient NH_3 Luft/NH_3 Blut r= 0,81
  (62 Meßpunkte)
  Ausgleichsgerade Steigung 1,14
  Schnittpunkt y-Achse 62,32

- Korrelationskoeffizient NH_3 Luft/Harnstoff Blut r= 0,007
  (63 Meßpunkte)
  Ausgleichsgerade Steigung - 0,002
  Schnittpunkt y-Achse 46,32

Versuche mit VT_2:

- Korrelationskoeffizient NH_3 Luft/NH_3 Blut r= 0,81
  (65 Meßpunkte)
  Ausgleichsgerade Steigung 0,99
  Schnittpunkt y-Achse 57,37

- Korrealtionskoeffizient NH_3 Luft/Harnstoff Blut r= 0,094
  (65 Meßpunkte)
  Ausgleichsgerade Steigung 0,045
  Schnittpunkt y-Achse 51,62

Bei beiden Versuchstieren konnte mit r= 0,81 eine enge Beziehung zwischen dem Luft-Ammoniakgehalt und dem Blut-Ammoniakgehalt festgestellt werden. Das heißt, eine Veränderung des Luft-Ammoniakgehaltes hat sofort eine Veränderung des Blut-Ammoniakgehaltes zur Folge. Dagegen konnte kein Zusammenhang zwischen der Höhe des Luft-Ammoniakgehaltes und der des Blut-Harnstoffgehaltes ermittelt werden.

D I S K U S S I O N

Ziel der Untersuchung war es, den Einfluß einer hohen Ammoniakkonzentration in der Stalluft auf den Ammoniak- und Harnstoffgehalt im Blut beim Schaf festzustellen. Bei Betrachtung des Verlaufes der Blut-Harnstoff- und Ammoniakkonzentrationen unter NH_3-Belastung fällt der unterschiedliche Einfluß der künstlich erzeugten Ammoniakatmosphäre in der Stalluft auf diese beiden Parameter auf.

Als Durchschnittswerte für den Blut-Ammoniakgehalt ohne Belastung über die Stalluft, d.h. bei Luft-Ammoniakkonzentrationen unter der Geruchsschwelle, wurden bei VT_1 und VT_2 Werte zwischen 50 und 60 µg/ 100 ml Blut festgestellt. Diese Werte entsprechen den Angaben der Literatur (STÖBER, 1977).

Sofort nach der Verdampfung von NH_3 steigt auch der Ammoniakgehalt im Blut an. Während der gesamten Verdampfungsperiode behält die Blut-Ammoniakkonzentration ihr hohes Niveau bei. Bereits 1 Stunde nach Beendigung der NH_3-Belastung ist, parallel zur Ammoniakkonzentration in der Stalluft, der Blut-Ammoniakgehalt wieder auf seinen Ausgangswert gesunken.

Bei den Versuchen wurde mit Luft-Ammoniakkonzentrationen von verschiedener Höhe gearbeitet. In allen Versuchen konnte festgestellt werden, daß sich der Blut-Ammoniakgehalt proportional zum Luft-Ammoniakgehalt ändert. Dies wird auch anhand der Abbildungen 8 und 9 deutlich. Darin wurden für VT_1 bzw. VT_2 die ermittelten Blut-Ammoniakwerte aller Belastungsversuche während der Verdampfungsperiode gegen die dabei gemessenen Luft-Ammoniakwerte aufgetragen. Die eingezeichnete Gerade vermittelt einen Eindruck der engen Beziehung zwischen dem Luft- und Blut-Ammoniakgehalt.

Abbildung 8: Korrelation zwischen der NH_3 - Konzentration in der Luft und der NH_3 - Konzentration im Blut bei VT_1 während der Belastungsversuche
r = 0,81
Steigung der Ausgleichsgerade 1,14

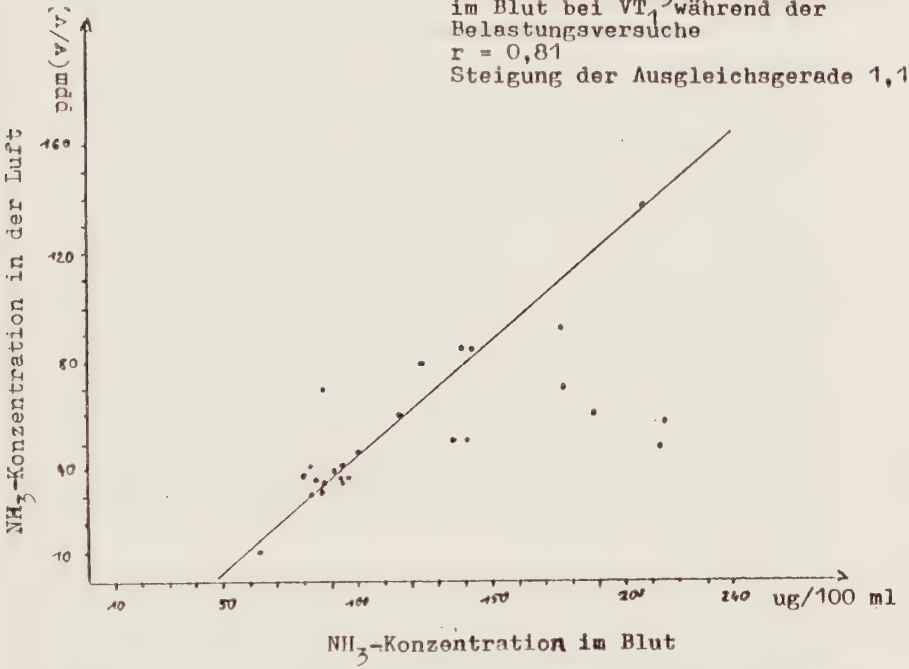
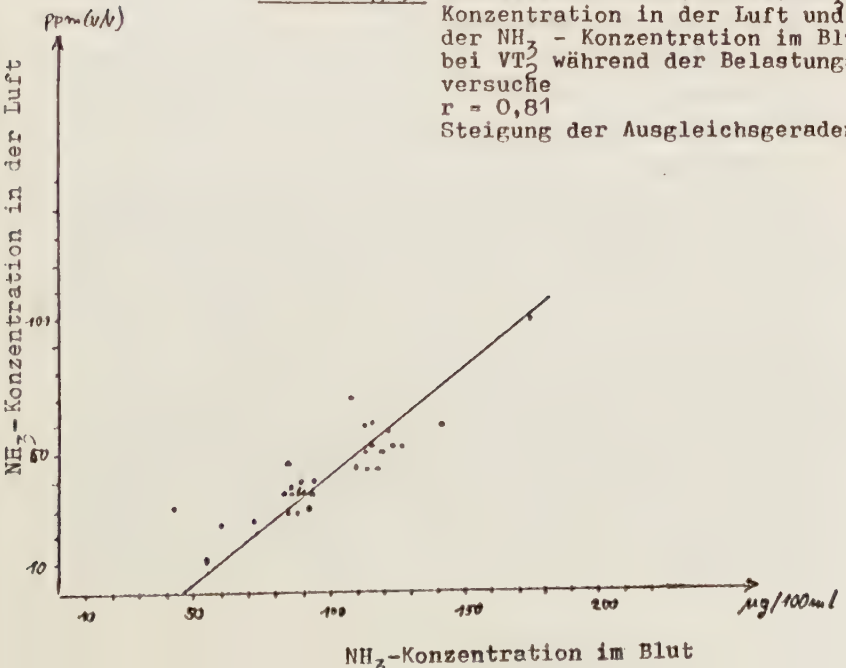


Abbildung 9: Korrellation zwischen der NH_3-Konzentration in der Luft und der NH_3 - Konzentration im Blut bei VT_2 während der Belastungsversuche
r = 0,81
Steigung der Ausgleichsgeraden 0,99



Auffällig ist die größere Streuung der Meßpunkte um die Gerade in den rechten Hälften der Abbildungen.
Hierfür ist folgende Erklärung möglich. Ammoniak ist ein wasserlösliches Gas von hoher Löslichkeit. Seine Anreicherung im Wasserraum des Organismus erfolgt gemäß dem Konzentrationsgefälle zwischen Alveolarluft und Blut. Bei frequenter Atmung müßte daher mehr Ammoniak aus der Luft in das Blut übergehen, als bei ruhiger Atmung. Somit ist der Anstieg von Ammoniak im Blut auch vom Verhalten der Tiere abhängig.
Während der Versuche konnte festgestellt werden, daß die Tiere teils aus Aufregung, teils wegen der höheren Stalltemperatur im Sommer oder auch wegen der hohen Luft-Ammoniakkonzentration heftiger atmeten. In der Literatur sind als klinische Erscheinungen bei Ammoniakvergiftungen u. a. Tachypnoe und motorische Unruhe (PRIOUZEAU, M., 1951).
Ein Anschwellen der Schleimhäute des Atmungsapparates, das durch den Luft-Ammoniakgehalt bedingt sein kann, wirkt sich wiederrum negativ auf die Resorption von NH_3 aus.

Ein Rechenbeispiel kann die von mir gemessenen Blut-Ammoniakwerte in Abhängigkeit von der Luft-Ammoniakkonzentration veranschaulichen:

Ein Schaf, mit einem Atemzugvolumen von ca. 500 ml Luft, mit einer Atemfrequenz von 30 bis 40 Atemzügen pro Minute, atmet in einer Stunde ca. 900 l Luft ein. Ein m^3 Luft enthält bei einer Ammoniakkonzentration von 100 ppm (v/v) ca. 71,84 mg NH_3; dies bei 20^0C und 760 Torr. Das Schaf atmet daher pro Stunde 64,66 mg NH_3 ein; vorausgesetzt, daß alles NH_3 resorbiert wird. Als gut wasserlösliches Gas müßte sich das Ammoniak auf den gesamten Wasserraum des Organismus verteilen. Dieser kann mit ca. 60 % des Gesamtgewichts angenommen werden. Das heißt, bei einem 50 kg schweren Schaf entspräche dies einer Wassermenge von 30 kg. Vorausgesetzt, daß sich das Ammoniak gleichmäßig in diesem Wasserraum verteilt, würden 100 ml Körperflüssigkeit 215 µg NH_3 enthalten (64,66 mg : 300 = 0,215). Zählt man zu diesem Wert noch 50 µg NH_3 (gemessener Normalwert) hinzu, so kommt man zu einem errechneten Blut-Ammoniakwert von 265 µg/100 ml Blut.

Die in meinen Versuchen ermittelten Blut-Ammoniakwerte lagen bei entsprechenden Luft-Ammoniakkonzentrationen jedoch niedriger. Dies läßt den Schluß zu, daß eine Reihe nicht erfaßter Faktoren, wie z.B. das Ausmaß der NH_3-Resorption, die NH_3-Verteilung im Organismus, die gleichzeitig ablaufenden Entgiftungsmechanismen und die Möglichkeit der direkten Ausscheidung von NH_3 über die Lunge, die Höhe der Blut-Ammoniakkonzentration beeinflußen.
Weiterhin war es schwer möglich, eine über Stunden anhaltende, gleichbleibende Luft-Ammoniakkonzentration aufrechzuerhalten. Durch den schlecht abzudichtenden Stall und dessen Betreten und Verlassen während der Versuche konnte die gewünschte Konzentration nur annähernd erreicht werden. Vor und nach den Messungen lagen die NH_3-Konzentrationen der Luft teils über und teils unter den Sollwerten.

Ganz anders verhielten sich die Blut-Harnstoffwerte während der Versuche. Aus den Vorversuchen ging hervor, daß der Blut-Harnstoffgehalt während 24 Stunden - mit gewissen Schwankungen - annähernd gleichbleibt. Die Schwankungen lagen im Bereich der Fehlermöglichkeit der angewandten Testkombination. Das unterschiedliche Durchschnittsniveau der Blut-Harnstoffwerte hängt von Faktoren ab, wie Fütterungslage, Laktation usw. Auch in der Literatur werden daher Normalwerte angegeben, die bis zu 35 mg auseinanderweichen (DVG, 1977). Wichtiger ist daher der Verlauf der Blut-Harnstoffkonzentrationen während der Belastungsversuche.

Bei den beiden Versuchen mit kurzzeitiger, aber hoher Luft-Ammoniakkonzentration verlaufen die Blut-Harnstoffkurven ungefähr entsprechend dem Verlauf der Normalwertkurven. Bei den Versuchen mit länger andauernden

hohen Luft-Ammoniakkonzentrationen ist ein kontinuierlicher Abfall der Blut-Harnstoffkonzentrationen festzustellen. Dies steht im Gegensatz zu der Überlegung, daß, wenn Ammoniak im Blut auftritt, dieses sofort zu Harnstoff abgebaut wird. Dabei müßte die Blut-Harnstoffkonzentration eigentlich ansteigen.

In den Abbildungen 10 und 11 wurden die während der Belastungsversuche gemessenen Blut-Harnstoffwerte in Bezug zu den gemessenen Luft-Ammoniakkonzentrationen für VT_1 und VT_2 dargestellt. Eine Gerade, durch die häufigsten Punkte gelegt, zeigt, daß kein Zusammenhang zwischen Luft-Ammoniakgehalt und der Blut-Harnstoffkonzentration besteht. Die Geraden verlaufen parallel zur x-Achse.

Es stellt sich nunmehr die Frage, auf welchem Weg das resorbierte Ammoniak im Blut den Organismus entweder verläßt oder wo es gebunden wird, bevor es in der Leber zu Harnstoff entgiftet werden kann.

Ammoniak, das über die Pansengefäße resorbiert wird, wird zwangsläufig vollständig in die Leber weitergeleitet und hier entsprechend entgiftet. Dagegen wird NH_3, das aus der Alveolarluft resorbiert wird, über die Lungenvene ins Herz und von hier aus über den arteriellen Kreislauf in den gesamten Organismus verteilt. Lediglich 25 bis 35 % des arteriellen Blutes gelangen davon in die Leber (SPÖRRI, 1976). Rein rechnerisch könnten aus dem bei einer Luft-Ammoniakkonzentration von 100 ppm resorbierten NH_3 im Blut 2 bis 3 mg Harnstoff synthetisiert werden. Da aber nur 1/5 bis 1/3 dieses Ammoniakgehaltes durch die Leber fließen, ergibt sich dadurch lediglich eine Mehrsynthese von 0,5 bis 1 mg Harnstoff/100 ml Blut.

Abbildung 10: Korrelation zwischen der NH_3 - Konzentration in der Luft und der Harnstoffkonzentration im Blut bei Versuchstier 1 während der Belastungsversuche
r = 0,007
Steigung der Ausgleichsgeraden = 0,002

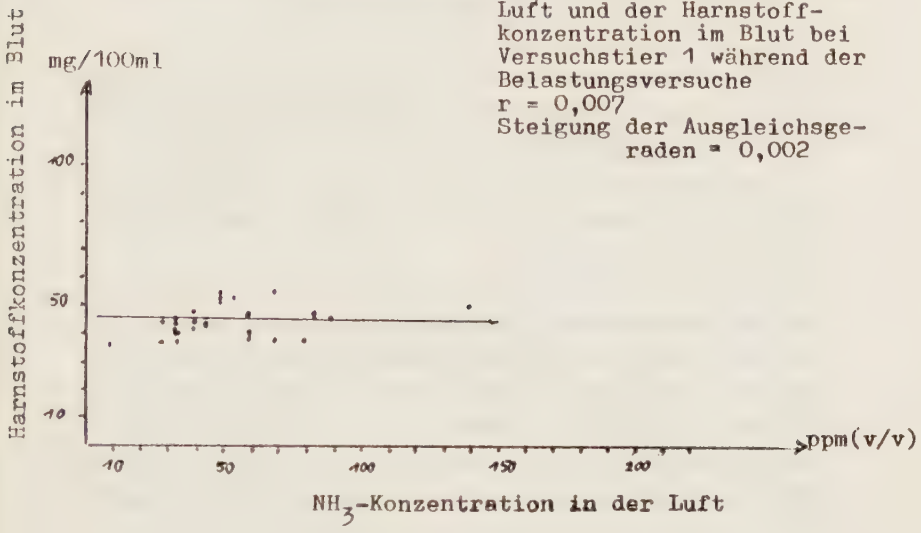
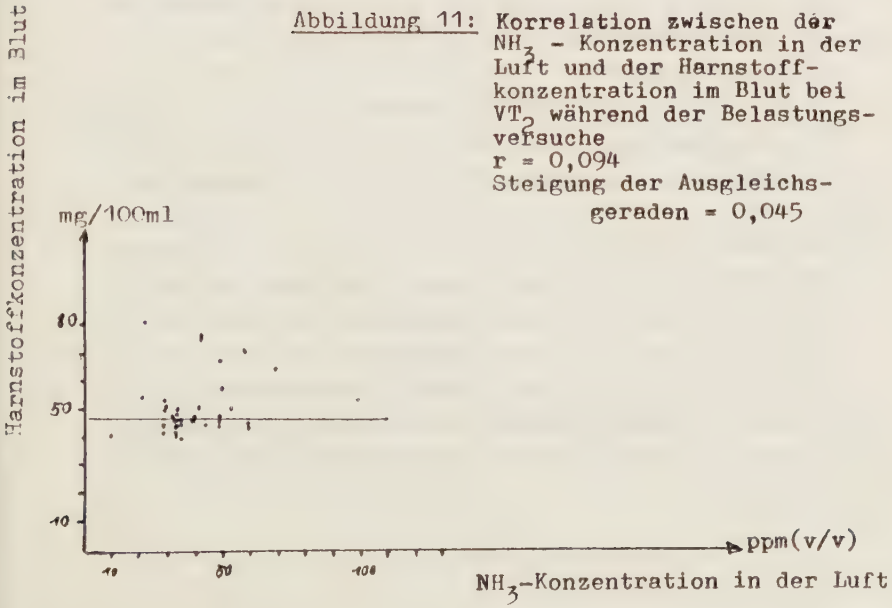


Abbildung 11: Korrelation zwischen der NH_3 - Konzentration in der Luft und der Harnstoffkonzentration im Blut bei VT_2 während der Belastungsversuche
r = 0,094
Steigung der Ausgleichsgeraden = 0,045



Diese Menge war mit der angewandten Testkombination nicht deutlich genug feststellbar.

DAVIDOVICH und BARTEY (1977) stellten bei der Ammoniakintoxikation organisch gesunder Tiere eine Differenz der Ammoniakkonzentration zwischen A. carotis und V. jugularis fest und schlossen daraus, daß im zentralen Nervensystem eine ansehnliche Menge von Ammoniak gebunden wird.

Die Wiederkäuerniere ist unter physiologischen Umständen in der Lage, bei Zufuhr von überschüssigem Stickstoff Ammoniak direkt im Urin auszuscheiden (JUHÁSZ, 1970). Da die Niere von ca. 20 % des arteriellen Blutes durchströmt wird (VOGEL und GÄRTNER, 1976), könnte auf diesem Weg etwa 1/5 des über die Lunge resorbierten Ammoniaks ausgeschieden werden.

SÖDERHJELM und LINDQUIST (1980) haben in Rohmilchproben einer Molkerei am Tag der Gewinnung eine Ammoniakkonzentration von ungefähr 340 µg/100 ml festgestellt. Somit wird auch auf dem Weg der Milchbildung eine erhebliche Menge NH_3 ausgeschieden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß nur ein kleiner Teil des über die Lunge resorbierten Ammoniaks in der Leber zur Harnstoffsynthese zur Verfügung steht.

Nach JUHÁSZ (1970) ist der Wiederkäuer in der Lage, nach Zufuhr von größeren Stickstoffmengen, vermehrt Harnstoff über die Nieren auszuscheiden, ohne daß sich dabei die Wasserausscheidung erhöht. So kann erklärt werden, daß trotz starker Ammoniakanflutung die Harnstoffkonzentration des Blutes nicht - wie erwartet - steigt, sondern sogar noch sinken kann.

Z U S A M M E N F A S S U N G

An zwei Schafen wurde untersucht, welchen Einfluß eine erhöhte Ammoniakkonzentration in der Stallluft auf den Blut-Ammoniakgehalt und den Blut-Harnstoffgehalt hat.

Die beiden Schafe standen während der Versuche in einem geschlossenem Stall. Für jede Versuchsperiode wurde den Tieren ein Verweilkatheter in die Jugularvene eingeführt, über den während des Versuchszeitraumes stündlich eine Blutprobe entnommen wurde. Die Blutproben wurden sofort unter Luftabschluß verarbeitet und bis zur Auswertung eingefroren. In zwei 24-stündigen Versuchen konnten Normalwerte für die Blut-Harnstoffkonzentration zwischen 35 und 54 mg Harnstoff/100 ml Blut festgestellt werden. Die durchschnittliche Blut-Ammoniakkonzentration betrug 60 µg Ammoniak/100 ml Blut. Während der 10 folgenden Belastungsversuche wurde zweimal für 2 1/2 Stunden und achtmal für 5 bis 6 Stunden Ammoniak in der Stallluft verdampft. Die gemessenen Luft-Ammoniakkonzentrationen lagen während dieses Zeitraumes bei Werten zwischen 32 und 103 ppm (v/v). Innerhalb der Verdampfungsperiode blieb die erzeugte Luft-Ammoniakkonzentration annähernd konstant. In diesen Versuchen wurde eine enge Korrelation zwischen dem Luft-Ammoniakgehalt und dem Blut-Ammoniakgehalt von r = 0,81 bei beiden Tieren errechnet, wogegen die Korrelation zwischen dem Luft-Ammoniak- und Blut-Harnstoffgehalt nur r = 0,094 bei VT_2 und r = 0,007 bei VT_1 betrug. Die Höhe der Blut-Ammoniakkonzentration ist unmittelbar abhängig von der Höhe der Luft-Ammoniakkonzentration.

Entgegen der Erwartung, daß eine erhöhte Luft-Ammoniakkonzentration auch einen erhöhten Blut-Harnstoffgehalt bewirken könnte, wurde sogar ein Abfall der Blut-Harnstoffkonzentration festgestell. Es wurde daraus die Schlußfolgerung gezogen, daß über die Luft resorbiertes NH_3 nur zu etwa 20 bis 30 % über die A. hepatica in die Leber gelangt, um dort entgiftet zu werden. Die restlichen 70 bis 80 % werden entweder direkt über die Niere und Milchdrüse ausgeschieden oder im Zentralnervensystem in Form von Glutamin gebunden. Der Abfall der Blut-Harnstoffkonzentration wurde als Folge einer verstärkten tubulären Sekretion von Harnstoff in den Nieren interpretiert. Dies kann eine Reaktion des Wiederkäuerorganismus auf vermehrte Stickstoffbelastung sein.

SUMMARY

Experiments about the Influence of a high Concentration of Ammonia in the Stable Air on the Urea and Ammonia Concentration in the Blood of Sheep

The influence of varying ammonia concentrations in the air on blood ammonia and blood urea concentration of sheep was tested in 12 experiments. During the entire periods the two sheeps were kept in a closed stable. For each of the testing periods catheters were inserted into the vena jugularis of both sheeps, thereby allowing hourly vacuum blood sample taking. Two tests lasting 24 hours each showed normal values of the blood urea between 35 and 54 mg urea/100 ml blood. The average blood ammonia concentration was 60 µg ammonia/100 ml blood. During the following 10 experiments i.e., 2 lasting 2 1/2 hours and 8 lasting 5 to 6 hours ammonia was evaporated into the stable air. The values of air ammonia concentration during these periods ranged between 32 and 103 ppm (v/v). Within the evaporation periods the air ammonia concentration remained more or less constant. At these experiments a close correlation between the air ammonia values and the blood ammonia values of r = 0,81 was observed in both animals, whereas the correlation between air ammonia and blood urea ranged only r = 0,094 in case of VT_2 and r = 0,007 in case of VT_1. The ammount of blood ammonia concentration was directly dependent on the degree of air ammonia concentration. Contrary to the expectation that increased air ammonia concentration could also cause an increased blood

urea concentration, an even lesser blood urea concentration was found. Therefore it was concluded that only about 20 - 30 % of the via air absorbed NH_3 reach the liver via the A. hepatica to be transformed there. The remaining 70 - 80 % are excreted either directly via the kidneys and udder, or deposited in the central nerve system in form of glutamin. The decline of blood urea concentration was interpreted as a result of an intensive tubular secretion of the urea in the kidneys. This could be a reaction of the ruminant mechanisms to the increased burden of nitrogen.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

ANONYM (1974)

DLG Futterwerttabellen für Rinder und Schweine.
DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt/Main

ANONYM (1978)

Test-Fibel Ammoniak.
Firma Boehringer, Mannheim

AUTORENKOLLEKTIV (1974)

Luftverunreinigung bestimmter Gebiete und technologische Verfahren zur Emissionsverminderung.
Broschürenreihe, Technik und Umweltschutz, Leipzig,
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, S. 84

BENTZ, H. (1969)

Nutztiervergiftungen, Erkennung und Verhütung.
VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, S. 293 - 297

BERGNER, H. (1970)

Der Einsatz von Nicht-Proteinstickstoff (NPN)-Verbindungen in der Wiederkäuerernährung.
Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt Universität zu Berlin, Math.-nat. R 19, 45 - 50

BERSCHAUER, F. (1977)

Die Blutharnstoffkonzentration als Parameter für die Proteinverwertung beim Schwein. Ein Beitrag zur Bewertung von Futterrationen.
Agr. Diss., Stuttgart - Hohenheim

BODʾA, K., J. VARADY, J. TOMAS und M. BAJO (1975)

Effect of amino nitrogen level in the rumen on nitrogen absorption in the isolated sheep rumen.
Veterinarni Medicina 20, 527 - 537

BUDDECKE, E. (1974)

Grundriß der Biochemie.
W. de Gruyter Verlag, Berlin-New York, S. 59 - 61

CHALUPA, W. (1970)

Ammonia metabolism in rumen bacteria and mucosa from sheep fed soy protein or urea (II.). Detoxication of ammonia in sheep fed soy protein of urea.
J. Nutr. 100, 161 - 169 u. 170 - 176

CHISZUK, P. und S. ERIKSON (1973)

Ammonia formation in the rumen of sheep fed on grass, clover or lucerne preserved in various ways.
Swedish J. agric. Res. 3, 13 - 20

DAVIDOVICH, A. und E. BARTEY (1977)

Ammonia toxicity in cattle. II. Changes in carotid and jugular blood components associated with toxicity.
J. Anim. Sci. 44, 702 - 709

DINNING, J. S., H. M. BRIGGS, W. D. GALLUP, O. B. ROSS, L. H. MOE und R. L. BUTLER (1949)

Urea in livestock feeding.
J. Amer. Vet. Med. Ass. 114, 90 - 92

ECKART, K. (1980)

Bestimmung des Harnstoffgehaltes in der Milch.
Vet. med. Diss., München

ERBERSDOBLER, H. und H. ZUCKER (1978)

Proteinqualitätsuntersuchungen an der Jahresproduktion von Magermilchpulver eines Trockenmilchwerkes.
Milchwissenschaft 9, 551 - 554

FOLMAN, Y., H. NEUMARK, M. KAIM und W. KAUFMANN (1981)

Performance, rumen and blood metabolites in high-yielding cows fed varying protein percents and protected soybean.
J. Dairy Sci. 64, 759 - 768

GRAVES, K. und UNDERBIERG (1961)

Ammonia in a urea feed sample.
Vet. Med. 56, 5 - 6

HAGEMEISTER, H., W. LÜPPING und W. KAUFMANN (1980)

Microbial protein synthesis and digestion in the high-yielding dairy cow.
In:
Haresign, W.:
Recent advances in animal nutrition.
Butterworths, London, S. 67 - 83

HAMDY, I. (1975)

Vergleichende Bestimmung des Harnstoffgehaltes im Vollblut und Blutserum mit dem Merckognost-Harnstoff-Test und der Biochemia-Test-Combination.
Vet. med. Diss., Hannover

HARMEYER, Y. und H. MARTENS (1980)

Aspects of urea metabolism in ruminants with reference to the goat.
J. Dairy Sci. 63, 1707 - 1728

JUHÁSZ, B. (-)

Zum Problem der Höchsteinsatzmenge verschiedener NPN - Verbindungen.
Institut für Tierzucht, Herceghalom,
Budapest, Ungarn

JUHÁSZ, B. (1968)

Untersuchungen über die Ätiologie der Pansenazidose der Wiederkäuer.
Arch. Exp. Vet. Med. 22, 969

JUHÁSZ, B. (1970)

Stickstoffumsatz im Pansen und im Intermediärstoffwechsel des Wiederkäuers.
Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt Universität zu Berlin, Math.-Nat. R. 19, 19 - 27

KAUFMANN, W. (1960)

Über den Einfluß des Eiweißgehaltes im Futter auf die Verdauungsvorgänge im Pansen von Rindern.
Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte 12, 419 - 433

KAUFMANN, W. (1979)

Probleme der Eiweißversorgung hochleistender Milchkühe.
Schriftreihe des Agrarwissenschaftlichen Fachbereichs der Universität Kiel 60, 133 - 138

KAUFMANN, W. und W. LÜPPING (1979)

Zum Einfluß von "Protected Protein" und HMM-Ca auf die Leistung von Milchkühen.
Z. Tierphysiol., Tierernähr.,Futtermittelkd. 41, 202 - 217

KAUFMANN, W. (1982)

Variation in der Zusammensetzung des Rohstoffs Milch unter besonderer Berücksichtigung des Harnstoffgehaltes.
Milchwissenschaft 37, 6 - 9

KALICH, J. (1981)

Umrechnungstabelle von flüssigem zu gasförmigem Ammoniak (persönliche Mitteilung).

KOENIG, H. und R. KOENIG (1949)

Production of acute pulmonary edema by ammonium salts.
Proc. Soc. exp. Biol. (N.Y.) 70, 375 - 380

KUTAS, F. und F. VETÉSI (1977)

Pathology of coli enterotoxämia in rabbits.
Zitiert nach:
Juhász, B (-):
Zum Problem der Höchsteinsatzmenge verschiedener NPN-Verbindungen.
Institut für Tierzucht, Herceghalom,
Budapest, Ungarn

MELHORN, G. (1979)

Lehrbuch der Tierhygiene.
VEB Gustav Fischer Verlag, Jena

MÜNCHOW, H. und H. BERGNER (1967)

Untersuchungen zur Proteinverwertung von Futtermitteln.
Arch. Tierernähr. 17, 141 - 150

NIEMAND, H. G. (1980)

Praktikum der Hundeklinik.
Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg, S. 396

PRIOUZEAU, M. (1951)

Purpura hémorragique des bovidés consecutif á l'ingestion de sulfate d'ámmonique.
Rev. Méd. Vét. 127, 287 - 295

SCHMIDL, M. (1978)

Laboruntersuchungen für die Diagnose und Verlaufskontrolle.
Firma Boehringer Mannheim GmbH, Mannheim, S. 67 - 69

SÖDERHJELM, P. und B. LINDQUIST (1980)

The ammonia content of milk as an indicator of its biological deterioration or ageing.
Milchwissenschaft 9, 541 - 543

SPÖRRI, H. (1976)

Physiologie der Leber.
In: Scheunert A. und A. Trautmann:
Lehrbuch der Veterinärphysiologie.
Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg, S. 393

STÖBER,M. und H. GRÜNDER (1977)

Normalwerte der Merkmale und Inhaltsstoffe im Vollblut und Blutplasma des Rindes.
In: Rosenberger, G.:
Die klinische Untersuchung des Rindes.
Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg, S. 156

SYMPOSIUM INTERNATIONAL STRASBOURG (1974)

Neue Erkenntnisse zum Ammoniakstoffwechsel.
Verlag Gerhard Witzstrock GmbH, Baden-Baden, Brüssel

VOGEL, G. und K. GÄRTNER (1976)

Physiologie der Niere.
In: Scheunert, A. und A. Trautmann:
Lehrbuch der Veterinärphysiologie.
Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg, S. 694

WESTON, R. H. und J. P. HOGAN (1967)

The digestion of chopped and ground roughages by sheep. I. The movement of digesta through the stomach.
Aust. J. agric. Res. 18, 789 - 801

ZUCKER, H., R. LESKOVA und H. TSCHIRCH (1972)

Wachstum und Serumharnstoff beim Kalb.
Wiener tierärztl. Mschr. 59, 316 - 320

ZUCKER, H. und A. STEGER (1975)

Exzessiv hohe Proteinzufuhr bei Wiederkäuern - Orientierende Untersuchung an Zwergziegen.
Wiener tierärztl. Mschr. 62, 338 - 340

ZUCKER, H. und R. LESKOVA (1975)

Verwertung und Toleranz von Harnstoff beim frühentwöhnten Kalb.
Wiener tierärztl. Mschr. 62, 240 - 244.

Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Gerrit Dirksen danke ich für die Überlassung des Themas und seine stete Unterstützung bei der Durchführung und Ausarbeitung meiner Arbeit.

Bei Herrn Prof. Dr. Hermann Zucker möchte ich mich für die Mitüberlassung des Themas und die Bereitstellung eines Laborplatzes in seinem Institut bedanken.

Mein Dank gilt Frau Dr. Barbara Hollstein, die mir bei der Probenanalytik und der Ausarbeitung meiner Arbeit mit Ratschlägen und technischen Informationen behilflich war.

Bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Labors der II. Medizinischen Tierklinik und des Weender-Labors des Instituts für Ernährungsphysiologie bedanke ich mich für die vielen technischen Hinweise und die Einarbeitung in die Analytik.

Lebenslauf

Name	Baer
Vorname	Dietrich
geboren	16. August 1952
Geburtsort	Hof/Saale
Eltern	Moritz Baer Lotte Baer, geb. Müller
1959 - 1963	Volksschule Hof/Saale
1963 - 1972	Jean-Paul-Gymnasium Hof/Saale
Juni 1972	Reifeprüfung
1972 - 1975	Mitarbeit in einer tierärztlichen Großtierpraxis in Schwarzenbach/Saale
WS 1975/76 bis SS 1980	Studium der Tiermedizin an der Universität München
November 1980	Staatsexamen
Januar 1981	Approbation als Tierarzt
September 1981 bis April 1982	Halbtagsbeschäftigung in einer Großtierpraxis in Freilassing
seit Mai 1982	Ganztagsbeschäftigung in einer Großtierpraxis in Markt Schwaben